

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Informe Final

Actividad de Fortalecimiento

Creación de un grupo de investigación en aplicaciones de los nanotubos de carbono

Número de Proyecto: 5402-1801-0453

Participantes:

Dr.-Ing. Paola Vega Castillo, investigador responsable

M.S.E.E. Juan Chaves Noguera

Fís. Marta Vílchez Monge

M.B.A. Juan Carlos Carvajal

Dra. Floria Roa Gutiérrez

Escuelas Participantes

Escuela de Ingeniería Electrónica

Escuela de Física

Centro de Vinculación Universidad-Empresa

Escuela de Química

12 de abril de 2012

Tabla de Contenido

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	5
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1 Objetivo general	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. METODOLOGÍA	9
4. RESULTADOS.....	12
4.1 CAPACITACIÓN	12
4.1.1 Cursos cortos de microscopía electrónica (Juan Chaves)	12
4.1.2 Organización de pasantías de capacitación (Paola Vega).....	13
4.1.3 Cursos cortos de caracterización de nanotubos de carbono (Juan Chaves) ..	15
4.2 DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE APLICACIÓN	16
4.2.1 Investigación bibliográfica de las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono (Paola Vega, Marta Vílchez, Floria Roa)	17
4.2.2 Recopilación de información de potenciales aplicaciones (Paola Vega, Floria Roa)	19
4.2.3 Charlas informativas (Juan Chaves)	25
4.2.4 Exploración de temas de proyectos de investigación (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez)	26
4.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	28
4.3.1 Estudio de costos (Marta Vílchez)	29
4.3.2 Análisis FODA de la competitividad del ITCR en la venta de nanotubos de carbono (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Paola Vega)	31
4.4 DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE APLICACIÓN COMERCIAL Y VINCULACIÓN CON LA INDUSTRIA.....	33
4.4.1 Identificación de desarrolladores de productos de nanotubos de carbono (Juan Carlos Carvajal, Paola Vega)	34
4.4.2 Empresas de nanotecnología en América Latina (Juan Carlos Carvajal, Paola Vega)	42
4.4.3 Aplicaciones comerciales y su viabilidad (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Paola Vega, Juan Chaves)	42
4.4.4 Identificación de alianzas industriales (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Juan Chaves, Paola Vega)	45
4.5 COOPERACIÓN ACADÉMICA.....	47
4.5.1 Cooperación con Lanotec (Paola Vega)	48
4.5.2 Cooperación con universidades extranjeras (Paola Vega, Juan Chaves)	50

4.5.3	Cooperación con universidades costarricenses (Paola Vega, Juan Chaves)...	51
4.6	DIVULGACIÓN	51
4.6.1	Divulgación al público en general (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez).....	53
4.6.2	Artículos en la prensa nacional (Paola Vega)	53
4.6.3	Ampliación del grupo de investigadores (Paola Vega, Marta Vílchez).....	54
4.6.4	Artículos divulgados en InformaTEC (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez)	55
4.6.5	Artículos divulgados en InvestigaTEC (Paola Vega)	56
4.6.6	Programas de radio en ImpactoTEC (Paola Vega, Juan Chaves).....	56
4.6.7	Divulgación a la industria (Juan Chaves, Paola Vega)	57
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	58
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7.	AGRADECIMIENTOS.....	60
8.	REFERENCIAS.....	61
9.	ANEXOS.....	61
	Anexo 1. Resumen ejecutivo: Diagnóstico de la situación del ITCR en el campo de la nanotecnología.....	61
	Anexo 2. Resumen ejecutivo: Diagnóstico de las aplicaciones comercial de los nanotubos de carbono.....	74
	Anexo 3. Programa del Taller de vinculación Lanotec – Centros de investigación y Minuta del taller	75

Índice de Tablas

TABLA 1. ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN DEL PROYECTO INTEGRAL UNAM-ITCR	14
TABLA 2. ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN DE LA ACCIÓN PUNTUAL ITCR-UNAM.....	14
TABLA 3. PROYECTOS EN LOS QUE PODRÍAN UTILIZARSE LOS NANOTUBOS DE CARBONO	20
TABLA 4. INVESTIGADORES INTERESADOS EN INCORPORAR	27
TABLA 5. PRECIO DE PRODUCTOS USADOS PARA CONSTRUIR EL REACTOR PROTOTIPO	30
TABLA 6. PRECIO DE PRODUCTOS USADOS EN CADA DESCARGA.....	30
TABLA 7. COMERCIALIZADORES DE PRODUCTOS NANOTECNOLÓGICOS A NIVEL MUNDIAL [2].....	35
TABLA 8. COMERCIALIZADORES DE NANOTUBOS DE CARBONO A NIVEL MUNDIAL.....	39
TABLA 9. PRODUCTOS Y APLICACIONES EXISTENTES DE LOS NANOTUBOS DE CARBONO	43

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: Creación de un grupo de investigación en aplicaciones de los nanotubos de carbono

Número de Proyecto: 5402-1801-0453

Período de ejecución: 1 enero 2010- 31 diciembre 2011

Participantes:

– Dr.-Ing. Paola Vega Castillo, investigador responsable

Escuela de Ingeniería en Electrónica

pvega@itcr.ac.cr, pvega@ietec.org

– M.S.E.E. Juan Chaves Noguera

Escuela de Ingeniería en Electrónica

jschaves@ietec.org

– Fís. Marta Vílchez Monge

Escuela de Física

mvilchez@itcr.ac.cr

– Dr. Floria Roa Gutiérrez

Escuela de Química

froa@itcr.ac.cr

– M.B.A. Juan Carlos Carvajal

Centro de Vinculación Universidad-Empresa

icarvajal@itcr.ac.cr

Resumen

La actividad consiste la creación de un grupo de investigación en el ITCR en nanotecnología específicamente en aplicaciones de los nanotubos de carbono. Para esto, la actividad se llevó a cabo en paralelo con el proyecto de investigación “Nanotubos de carbono: síntesis, caracterización y potenciales aplicaciones”, y comprendió un estudio de factibilidad para la producción de nanotubos de carbono para actividades comerciales y académicas, un diagnóstico de áreas de aplicación concordantes con las áreas de investigación del ITCR, áreas de interés comercial y capacitación de personal del ITCR. Adicionalmente, se diagnosticaron las áreas de aplicación a corto plazo de los nanotubos de carbono, en busca de nichos de mercado para alianzas estratégicas con la industria, así como el fomento a la cooperación académica con universidades e instituciones nacionales y extranjeras.

Palabras clave: Nanotubos de carbono, nanotecnología, grupo de investigación, estudio de factibilidad, diagnóstico

Abstract

This activity consists on the creation of a research group at ITCR in the field of applications of carbon nanotubes nanotechnology. For that, this activity was carried in parallel to the research project “Carbon Nanotubes: Synthesis, Characterization and Potential Applications”, and consists on a feasibility study for production of carbon nanotubes for commercial and academic activities, a diagnosis of application areas in agreement with the research areas of ITCR areas of commercial interest and training activities for ITCR’s personnel. In addition to that, short term application fields of carbon nanotubes were diagnosed in order to find market niches for strategic alliances with industry and academic cooperation with national and foreign universities and institutions.

Key words: carbon nanotubes, nanotechnology, research group, feasibility study, diagnose

2. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología ha sido definida como una tecnología clave dentro de las llamadas tecnologías convergentes. Al mismo tiempo, es una tecnología emergente. Esto implica que este es un buen momento para realizar investigación con alto potencial de propiedad intelectual. La organización Estrategia Siglo XXI la identifica, junto con la biotecnología, como una de las tecnologías que puede contribuir al desarrollo del país. De hecho, presenta claras ventajas sobre otras tecnologías para establecerse en los países en vías de desarrollo, pues *“Involucra poca labor, tierras o mantenimiento; es altamente productiva y barata; y sólo requiere modestas cantidades de materiales y energía”* [1].

En este sentido la nanotecnología es un área clave para el ITCR, que como la primera universidad tecnológica del país, a diferencia de la UCR y la UNA. Está llamado a liderar su quehacer e innovación tecnológica. Hasta hace poco, el ITCR no había desarrollado proyectos relacionados con el área de la nanotecnología. Tampoco existe en el ITCR un esfuerzo articulado de las Escuelas por incursionar en ésta área. Además, en el TEC tradicionalmente los esfuerzos realizados en investigación en el área de ciencia e ingeniería de materiales se han enfocado a la tradicional metalurgia, esta es otra de las razones por las cuales el ITCR ha permanecido rezagado en el tema de la nanotecnología y por lo cual es urgente activar esta área clave de investigación. Específicamente, se ha identificado el estudio de las aplicaciones los nanotubos de carbono como un tema de la nanotecnología en que el ITCR puede incursionar en el corto plazo por medio de un equipo interdisciplinario de investigación, siendo esta una de las fortalezas del TEC en comparación con las otras universidades estatales.

Por otra parte las extraordinarias propiedades de los nanotubos de carbono, y la alta susceptibilidad del carbono a las reacciones químicas, hacen de los nanotubos de carbono un material con un gran potencial de aplicación. Entre estas cabe destacar:

- Alto punto de fusión, aproximadamente 3800°C.
- Alto módulo de Young, sobrepasando al diamante en un factor de mil.
- Alta capacidad para conducir la corriente eléctrica, sobrepasando a los metales nobles por un factor de mil

- La más alta conductividad térmica conocida, después de la del grafeno sobrepasando al diamante puro por un factor de dos.
- Muy baja densidad, lo cual lo hace un material liviano
- Compatible con las ciencias biomédicas

En paralelo a esto, dentro de la actividad de fortalecimiento se plantearon una serie de actividades para la conformación de un grupo de investigación del ITCR en aplicaciones de los nanotubos de carbono para aplicaciones académicas y comerciales, así como la cooperación académica nacional e internacional y el acercamiento a la industria en busca de la incorporación de la nanotecnología en el sector productivo nacional, así como alianzas estratégicas con empresas nacionales. Asimismo, la preparación del grupo de investigación permitirá sentar una base para atraer inversión extranjera en investigación al ITCR, en un campo de alta tecnología.

Por otra parte, la venta de nanotubos crearía una fuente de ingresos adicional para el ITCR y potencialmente estrecharía los lazos con la industria para la incorporación de insumos de alta tecnología en sus productos existentes, abriendo la puerta para alianzas estratégicas para el desarrollo de nuevos productos.

Otro aspecto de esta actividad de fortalecimiento es iniciar el posicionamiento del ITCR en la opinión pública en el tema de la nanotecnología,

Para crear este grupo de investigación, esta actividad de fortalecimiento se enfocó en cumplir los objetivos enumerados a continuación.

2.1 Objetivo general

Conformar un grupo interdisciplinario de investigación en el área de nanotecnología.

2.2 Objetivos específicos

1. Capacitar a investigadores del ITCR en las técnicas de síntesis, manipulación y caracterización de nanotubos de carbono.

2. Diagnosticar las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono, coincidentes con las áreas de investigación actuales del ITCR
3. Estudio de factibilidad para la producción de nanotubos de carbono en el ITCR para actividades comerciales
4. Diagnóstico de las áreas de aplicación comercial a corto plazo de los nanotubos de carbono y de posibles alianzas estratégicas con la industria.
5. Fomentar la cooperación académica del ITCR con universidades e instituciones nacionales y extranjeras.
6. Difundir el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para desarrollar esta actividad de fortalecimiento consiste en:

a) Contacto con las Escuelas

Para esto, la actividad agrupó investigadores de varias Escuelas del ITCR, los cuales además de trabajar directamente en la actividad de fortalecimiento, sirvieron como contacto en las Escuelas para localizar a investigadores interesados en incorporar la nanotecnología como parte de sus proyectos de investigación o aquellos que llevan a cabo proyectos que pueden requerir dispositivos y materiales basados en nanotubos de carbono.

b) Capacitación

Se exploraron posibilidades de capacitación por medio de convenios de cooperación con universidades e instituciones nacionales o extranjeras, consistentes en el entrenamiento

de los investigadores en el uso del equipo, las técnicas de caracterización, manipulación y síntesis de nanotubos de carbono.

- c) Diagnóstico de las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono concordantes con las áreas de investigación actuales del ITCR

Para esto los investigadores participantes realizaron una investigación bibliográfica de las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono, así como una recopilación de información en las Escuelas sobre los proyectos y áreas de investigación actuales que representan potenciales aplicaciones de los nanotubos de carbono.

Adicionalmente, dentro del ITCR se realizaron charlas informativas sobre el concepto de nanotecnología y sus posibles aplicaciones, con el fin de informar a profesores, investigadores y estudiantes y localizar a más investigadores interesados en conformar el grupo o en proponer aplicaciones que requieran de la nanotecnología, ya sean éstas en proyectos de investigación o posibles productos comerciales.

- d) Estudio de factibilidad para la producción de nanotubos de carbono para actividades comerciales

Este estudio abarcó el aspecto económico de la producción de nanotubos de carbono con el fin de determinar costos finales de fabricación y su competitividad para su venta como materia prima. Para esto se realizó un estudio de los precios actuales de los nanotubos de carbono y su tendencia, así como un análisis detallado de costos.

- e) Diagnóstico de las áreas de aplicación comercial a corto plazo de los nanotubos de carbono y de posibles alianzas estratégicas con la industria.

Para este diagnóstico, se realizó una recopilación de información de las empresas desarrolladoras de nanotubos de carbono más importantes a nivel mundial, así como de la existencia de este tipo de empresas en América Latina y su estado actual. Esto permitió determinar productos existentes en el mercado, los productos en desarrollo, aplicaciones

comerciales vigentes más importantes y las aplicaciones de interés comercial requeridas en el corto plazo en las que el ITCR podría incursionar. Esto permitirá identificar los sectores industriales con las que se podrían establecer alianzas estratégicas para generación de resultados a corto plazo.

- f) Fomentar la cooperación académica del ITCR con universidades e instituciones nacionales y extranjeras

Para esto se exploraron posibilidades de cooperación con universidades extranjeras y nacionales en las áreas de capacitación e investigación y uso de equipo. Adicionalmente se estrecharon las relaciones con el CENAT por medio de Lanotec, con el acercamiento de los investigadores para determinar posibles proyectos y actividades conjuntas. Esto se logró por medio de actividades conjuntas.

- g) Difundir el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología.

Adicionalmente, a lo anterior del ITCR se realizaron charlas informativas sobre la nanotecnología y sus posibles aplicaciones, con el fin de informar a profesores, investigadores, estudiantes y público en general.

Por medio de esta actividad se contribuyó a posicionar al ITCR en la opinión pública como una universidad de tecnología de punta, específicamente en el área de la nanotecnología, dado que hasta ahora este campo había sido abordado únicamente por la UCR y la UNA. Para esto se pueden utilizar medios de difusión masiva, con el fin de llegar al público general. Asimismo, se contribuyó a aumentar la visibilidad del ITCR en el área de nanotecnología ante los organismos claves de financiamiento e industria.

4. RESULTADOS

4.1 CAPACITACIÓN

Objetivo: Capacitar a investigadores del ITCR en las técnicas de síntesis, manipulación y caracterización de nanotubos de carbono.

4.1.1 Cursos cortos de microscopía electrónica (Juan Chaves)

Productos:

Cursos de capacitación interna en microscopía y caracterización de nanotubos de carbono.

Indicadores de logro:

- Al menos cinco investigadores del ITCR capacitados en microscopía electrónica.

Indicadores de logro alcanzados:

- Cinco investigadores del ITCR capacitados en microscopía electrónica.

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Se organizó un curso de técnicas de microscopía electrónica en el cual participaron 5 profesores del ITCR:

- Paola Vega Castillo, Escuela de Ingeniería Electrónica
- Fabiola Jiménez Rodríguez, Escuela de Química
- Dora Flores, Escuela de Biología
- Ronald Jiménez, Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales
- Noemi Quirós Bustos, Escuela de Química

Estos profesores formaron parte de un curso piloto de una duración de 20 horas que se impartió del 15 de octubre de 2010 al 12 de noviembre de 2010. Este curso se inscribió como curso de capacitación interna ante el Departamento de Recursos Humanos.

Como base para el curso se tomó el material didáctico preparado por el M.S.E.E. Juan Chaves y que se utilizó previamente en la capacitación de investigadores del ITCR realizada en la Universidad Estatal de California en Long Beach en agosto de 2009.

4.1.2 Organización de pasantías de capacitación (Paola Vega)

Productos:

Pasantías de entrenamiento en microscopía y caracterización de nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Al menos tres investigadores del ITCR capacitados en caracterización de nanotubos de carbono

Indicadores de logro alcanzados:

- A pesar de que las pasantías se organizaron, aún no hay investigadores del ITCR capacitados en caracterización de nanotubos de carbono

Porcentaje de cumplimiento: 0%

En el marco del “Proyecto Integral UNAM-ITCR Diagnóstico de aguas utilizando nanotubos de carbono” se organizaron las actividades de capacitación e intercambio académico indicadas en la tabla 1. Los fondos serían aportados principalmente por la Embajada de México. Las actividades estaban proyectadas para iniciar en el 2011, sin embargo la Embajada finalmente no aportó los fondos pues reclasificó el proyecto como un proyecto de educación.

Tabla 1. Actividades de capacitación del proyecto integral UNAM-ITCR

	Tema de la Pasantía	Descripción de la Actividad	Período de Ejecución
1	Síntesis de nanotubos de carbono	Curso	Julio 2011
2	Sensores basados en nanotubos de carbono	Curso	Noviembre 2011
3	Funcionalización de nanotubos de carbono	Intercambio y pasantías de estudiantes de doctorado	2012-2015
4	Avances y divulgación de los resultados del proyecto	Taller 1 Taller 2 Taller 3 Taller 4	Diciembre 2011 Diciembre 2012 Diciembre 2013 Diciembre 2014
5	Simposio	Nanotecnología y Ambiente	Julio 2012

Tabla 2. Actividades de capacitación de la acción puntual ITCR-UNAM

Modalidad	Descripción de la Actividad	Objetivo	Programa preliminar
Curso corto	Herramientas de Caracterización en Nanotecnología	Capacitar personal en el uso de herramientas y técnicas para la caracterización de materiales en nanotecnología	AFM, SEM, TEM, Difracción de Rayos-x, análisis térmico, DSC, TGA, DTA, Espectroscopía IR, NIR, UV, Visible, entre otras
Curso corto	Síntesis y aplicaciones de nanotubos de carbono	Capacitar personal en la síntesis y aplicaciones básicas en el uso de nanotubos de carbono	Método de arco, CVD, HipCO, PECVD, entre otras, y aplicaciones básicas como sensores y mejoramiento de materiales

Curso corto	Síntesis de películas delgadas	Capacitar personal en el uso de herramientas y técnicas para la síntesis de películas delgadas	Métodos de deposición física y química de capas delgadas
Curso corto	Funcionalización de Nanotubos de Carbono	Capacitar personal en las metodologías de funcionalización de nanotubos de carbono	Diazonio, Fluorination, química de radicales, metal de disolución, entre otras.
Simposio	Aplicaciones de la Nanotecnología para el desarrollo	Identificación de aplicaciones de la nanotecnología en la resolución de problemas en los países en desarrollo	Uso de la nanotecnología en problemas ambientales y en el aumento de la competitividad de los países en desarrollo
Taller	Oportunidades de Investigación Conjunta UNAM-ITCR en Nanotecnología	Crear vínculos e identificar temas para plantear proyectos de investigación conjunta UNAM-ITCR	Áreas y temas de investigación conjunta UNAM-ITCR en nanotecnología, así como cooperación e intercambio a nivel de programas doctorales

Además de esto, se presentó a la Embajada de México la propuesta “Acción puntual Cooperación Técnica y Oportunidades de Investigación en Nanotecnología ITCR-UNAM”, organizando actividades de capacitación e intercambio académico, como se indica en la tabla 2. Los fondos serían aportados principalmente por la Embajada de México. Las actividades estaban proyectadas para iniciar en el 2011, pero no se dio contenido económico a la propuesta por las razones expuestas anteriormente.

4.1.3 Cursos cortos de caracterización de nanotubos de carbono (Juan Chaves)

Productos:

Cursos de capacitación interna en caracterización de nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Al menos tres investigadores del ITCR capacitados en caracterización de nanotubos de carbono

Indicadores de logro alcanzados:

- Los cursos están inscritos en Recursos Humanos y cuentan con 10 profesores matriculados, sin embargo no han podido llevarse a cabo.

Porcentaje de cumplimiento: 10%

Se presentó a Recursos Humanos una propuesta de curso de capacitación interna en técnicas de caracterización de nanotubos de carbono. Como base para el curso, se tomó el material didáctico preparado por el M.S.E.E. Juan Chaves y que se utilizó previamente en la capacitación de investigadores del ITCR realizada en la Universidad Estatal de California en Long Beach, en agosto de 2009.

El curso de capacitación interna de técnicas de caracterización de nanotubos de carbono no pudo realizarse en el marco de esta actividad de fortalecimiento. Las razones se explican en el Documento 2 de este informe final.

Dado que la actividad de fortalecimiento ya terminó, no fue posible impartir el curso antes de presentar este informe. Sin embargo, dado que se tiene un compromiso con los participantes inscritos y el Departamento de Recursos Humanos, el curso se impartirá, pues es importante para fortalecer las capacidades técnicas del Programa de Investigación en Nanotecnología.

4.2 DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE APLICACIÓN

Objetivo: Diagnosticar las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono, coincidentes con las áreas de investigación actuales del ITCR

4.2.1 Investigación bibliográfica de las áreas de aplicación de los nanotubos de carbono (Paola Vega, Marta Vilchez, Floria Roa)

Productos:

- Identificación de áreas de aplicación de los nanotubos de carbono coincidentes con las actividades de investigación del ITCR

Indicadores de logro:

- Al menos tres áreas de aplicación de los nanotubos de carbono identificadas

Indicadores de logro alcanzados:

- Tres áreas de aplicación de los nanotubos de carbono identificadas

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Se solicitó la creación de una comunidad llamada “Programa de Investigación en Nanotecnología” en el TEC Digital. Allí se creó un acervo bibliográfico en la comunidad. El acervo incluye libros, artículos y estándares, y es una recopilación de aplicaciones de la nanotecnología, fundamentos, caracterización, síntesis, funcionalización y situación de la nanotecnología en otros países, así como de las propuestas de proyectos y actividades en las que se ha trabajado hasta ahora. El acervo bibliográfico disponible en TEC Digital incluye 534 artículos, 35 libros, un portafolio de 12 presentaciones en power point sobre el estado del arte.

El acervo está organizado en las siguientes secciones:

- Agricultura y Alimentaria
- Agua
- Aplicaciones generales
- Biomédica
- Biotecnología
- Electrónica

- Energía
- Funcionalización
- Industria
- Medio ambiente
- NEMS
- Sensórica
- Síntesis y medición
- Toxicología
- Principios de nanotubos de carbono y nanotecnología

El portafolio de presentaciones sobre el estado del arte consta de las siguientes presentaciones:

- 1) Introducción a la nanotecnología, Dr.-Ing. Paola Vega, Escuela de Ingeniería Electrónica
- 2) Aplicaciones ambientales, MGA. Ricardo Coy, Escuela de Química
- 3) Purificación de agua, M.Sc. Noemi Quirós, Escuela de Química
- 4) Nanosensores, Dr.-Ing. Paola Vega, Escuela de Ingeniería Electrónica
- 5) Aplicaciones biomédicas, M.Sc. Fabiola Jiménez, Escuela de Química
- 6) Aplicaciones biotecnológicas, Dr. Miguel Rojas, Escuela de Biología
- 7) Sistemas Microelectromecánicos, Fís. Marta Vílchez, Escuela de Física
- 8) Sistemas Nanoelectromecánicos, Dr. Lía Castro, Escuela de Física
- 9) Nanotubos de carbono y sus aplicaciones, M.S.E.E. Juan Chaves, Escuela de Ingeniería Electrónica
- 10) Propiedad intelectual y su importancia en la nanotecnología, M.B.A. Juan Carlos Carvajal, Centro de Vinculación Universidad-Empresa
- 11) Nanotecnología en la Electrónica, Dr.-Ing. Paola Vega, Escuela de Ingeniería Electrónica
- 12) Nanoagricultura, Dr.-Ing. Paola Vega, Escuela de Ingeniería Electrónica

Según la investigación bibliográfica y considerando las fortalezas del ITCR, actualmente se perfilan tres áreas de aplicación:

- agricultura, en estudios de germinación, dosificación de fertilizantes y remoción de contaminantes químicos, sensores
- aplicaciones ambientales, en la purificación de agua, en remoción de agentes químicos y el diseño de sensores
- microelectrónica, en el estudio de materiales y dispositivos para interconexiones, transistores, sensores y almacenamiento de datos

4.2.2 Recopilación de información de potenciales aplicaciones (Paola Vega, Floria Roa)

Productos:

- Identificación de proyectos e investigadores con aplicaciones potenciales para los nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Lista de proyectos e investigadores con aplicaciones potenciales para los nanotubos de carbono

Indicadores de logro alcanzados:

- Lista de proyectos e investigadores con aplicaciones potenciales para los nanotubos de carbono

Esta actividad consiste en la recopilación de información en las Escuelas de los proyectos y áreas de investigación actuales que representan potenciales aplicaciones académicas y comerciales de los nanotubos de carbono. Dicha lista de proyectos se levantó con base en reuniones, contando con investigadores en la presentación “Programa de Investigación en Nanotecnología: situación actual y perspectivas” y en el Seminario Nanotec, así como información provista sobre los proyectos activos en el 2010 por la Dirección de Proyectos de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión sobre los proyectos activos en el 2010. Esta lista se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Proyectos en los que podrían utilizarse los nanotubos de carbono

Nombre del proyecto	Investigador Responsable
Utilización de energía solar para el calentamiento del agua mediante una nueva tecnología de capotres solares	MSc. Carlos Roldán
Implementación de un ructosa s para la biorremediación de nitratos en agua para consumo humano del Cantón Central de Cartago en la naciente La Misión	Licda. Virginia Montero
Diseño de un sistema de monitoreo y alerta ante deslizamiento y deslaves en la comunidad de Jucó de Orosí	Ing. Jorge Chaves
Utilización de residuos de madera en pequeños talleres de artesanía y elaboración de muebles en la comunidad de Sarchí	Ing. Carlos Mata
Desarrollo tecnológico de un sistema de adquisición de datos ambientales para su uso en proyectos de investigación científica: Arquitectura abierta CRTecMote	Dr.-Ing. Pablo Alvarado
Celdas solares que contienen tintes sensibilizantes para la producción de energía	MSC. Aníbal Coto
Robots miniaturizados: diseño, implementación y aplicaciones	Dra. Paola Vega
Análisis por computador de imágenes de geles de electroforesis: métodos avanzados de manejo de meta-información y procesamiento digital de imágenes	Dr.- Ing Pablo Alvarado
Desarrollo del programa de mejoramiento genético forestal de GENFORES	Dr. Olman Murillo
Dimensiones humanas, ecológicas y biofísicas de los bosques tropicales secos	Dr. Julio Calvo
Conservación y manejo de recursos genéticos forestales en la Zona Norte de Costa Rica	Dr. Olman Murillo
Valoración y planificación recurso hídrico de la cuenca alta	Dr. Julio Calvo

del Río Tempisque	
Reproducción de especies arbóreas y arbustivas para la región central de Costa Rica	Ing. Gustavo Torres
Mejoramiento y conservación genética de especies forestales amenazadas y de importancia económica asistido con marcadores genéticos	Dr. Olmán Murillo
Diagnóstico molecular de agentes infecciosos en garrapatas y animales reservori.	Dr. Ruperto Quesada
Desarrollo y caracterización de tableros prensados a partir de residuos lignocelulósicos de madera, piña y palma, combinados con empaque reciclado de TetraBrick	Dr. Roger Moya
Evaluación de factores ecológicos que afectan a la vida silvestre en áreas alteradas y áreas silvestres.	Dr. Ruperto Quesada
Determinación de los valores de esfuerzos estructurales para vigas de madera perfil tipo I	Dr. Roger Moya
Monitoreo de procesos ecológicos del Bosque Seco Tropical: aplicaciones de sensores remotos para estimaciones a nivel de paisaje y cambio global	Dr. Julio Calvo
Sistema agroecológico para la evaluación de la calidad del suelo y la sanidad del cultivo del chile dulce (capsicum ruct) en condiciones de invernadero	Ing. Marvin Villalobos
Síntesis y caracterización de polímeros biodegradables a partir de (L)- ácido láctico obtenido de un sustrato de interés regional aprovechando los desechos de la agroindustria como el banano Musa AAA (variedad Cavendish cultivar Gran naine) y la piña (Ananas comusus)	Ing. Luis Fdo. Campos
Modificación de superficies de silicio mediante moléculas de anclaje nanoparticuladas para ser utilizadas en dispositivos modernos	Dr. Dionisio Gutiérrez

Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa	Lic. Guillermo Calvo
Desarrollo de membrana de quitosano y diseño de un equipo para la eliminación de metales pesados del agua	Dr. Jesús Mora
Extracción y análisis de polímeros obtenidos a partir de varios productos naturales, para ser usados como potenciales floculantes en el tratamiento de agua para consumo humano	Licda. Maricruz Vargas
Obtención de productos de mayor valor agregado por pirólisis de policarbonato con catalíticos inorgánicos utilizando el material de reciclaje del ITCR	Dra. Floria Roa
Riesgo de contaminación de los acuíferos que establecen las nacientes Río Lora, Arriaz, Paso Ancho y Lankaster del Cantón Central de Cartago debido a plaguicidas organofosforados y carbamatos	MSc. Eric Romero
Evaluación de subproductos de cloración y su efecto mutagénico en agua para consumo humano	Dr. Virginia Montero
Estudio de la corrosividad atmosférica en el Volcán Turrialba	Ing. Galina Prybailo
Validación de las propiedades obtenidas en el proceso QPQ, al aplicarlo sobre aceros utilizados en la fabricación de moldes por la industria costarricense	Ing. Ronald Jiménez
Estrategia Innovadora interdisciplinaria para la protección fitosanitaria de la producción de hortalizas en ambientes protegidos en Costa Rica	Ing. Jaime Brenes
Desarrollo de modelos de crioconservación de semillas y material clonal de especies forestales de Costa Rica en peligro de extinción y seleccionadas en los programas de mejoramiento genético	Dra. Ana Abdelnour
Evaluación de alternativas frutícolas amigables con el ambiente para contribuir al desarrollo sostenible de la	MSc. Dora Flores

Zona Norte de Cartago	
Elaboración de un protocolo para la identificación de bacterias del género <i>Brucella</i> que representan un riesgo para la salud pública, alimentaria y la vigilancia epidemiológica en Costa Rica.	MSc. Claudia Zúñiga
Optimización del proceso de producción in vitro de piel humana y su trasplante en pacientes con diversas afecciones epidérmicas en Costa Rica	Dr. Miguel Rojas
Elaboración de apósitos biológicos del colágeno de la dermis de tilapia y del quitosano del exoesqueleto de camarón y evaluación preliminar de su potencial terapéutico en afecciones epidérmicas	Dr. Miguel Rojas
Elaboración de un biofertilizante formulado a base de <i>Azotobacter</i> spp	MSc. Johnny Peraza
Micropropagación de especies forestales. <i>Terminalia</i> amazonia y validación y afinamiento de protocolo desarrollado para <i>Vochysia</i> spp	Dra. Ana Abdelnour
Diagnóstico de las principales plagas y enfermedades que se presentan en los ciclos fenológicos del higo (<i>Ficus carica</i>) para la implementación futura de técnicas de biocontrol	MSc. Dora Flores
Validación por métodos moleculares de cultivos de queratinocitos humanos para optimizar su producción in vitro con fines terapéuticos en Costa Rica	Dr. Miguel Rojas
Evaluación de organismos quinolíticos degradadores de sustratos de quitina-quitosano para biocontrol y biodegradación	Lic. Andrés Sánchez
Implementación de un protocolo para el tipificado genético de equinos	MSc. Giovanni Garro
Estudios epidemiológicos del patógeno causante del “mal	Ing. Sergio Torres

seco” en Tiquisque	
Programa interinstitucional de investigación en biodiversidad y ecología de organismos de suelo, con énfasis en sistemas de producción limpia y control biológico. (SistemAlter – Biocontrol).	Dr. Tomás Guzmán
Respuesta en el rendimiento del cultivo de plátano (musa AAB) en función de la fertilización al suelo en la zona de San Carlos, Costa Rica	Ing. Carlos Ramírez
Establecimiento de protocolos para el cultivo y fusión de protoplastos en vainilla (vainilla planifolia y vainilla pompona)	Ing. Sergio Torres
Respuesta del pasto Retana(<i>Ischaemum indicum</i>) a la fertilización nitrogenada	Dr. Milton Villarreal
Desarrollo de modelos de producción sostenible para pequeños productores de la RHN Costa Rica	Dr. Milton Villarreal
Efecto del silicio en la fertilidad de suelo, en el porcentaje de incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz	Ing. Xiomara Mata
Desarrollo de una metodología para el diagnóstico viral y la producción de plantas de camote libres de virus	Ing. Sergio Torres
Desarrollo de una nueva metodología de transformación genética no-tradicional, como estrategia potencial para inducir resistencia a infecciones fúngicas en vainilla	Ing. Omar Gatjens
Modelo de Gestión Ambiental para acueductos rurales y red de monitoreo de la calidad del agua	Dr. Freddy Araya
Caracterización de marcadores genéticos involucrados en la formación de agallas de plantas inducidas por insectos	Ing. Omar Gatjens
Diagnóstico molecular de agentes infecciosos (<i>Ehrlichia caris</i> , <i>Ehrlichia chaffeensis</i> , <i>Ehrlichia ewingii</i> , <i>Anaplasma phagocitophilum</i> , <i>Anaplasma platys</i> , <i>Borrelia burgdorferi</i> s.l., <i>Rickettsia rickettsii</i>) en garrapatas y animales reservorios.	Dr. Ruperto Quesada

Mejoramiento del cultivo de vainilla (vanilla spp) por métodos tradicionales y no tradicionales y su implementación en sistemas agroforestales	Ing. Omar Gatjens
Metodología para el desarrollo de un modelo de predicción de la calidad del agua basado en ructosa s poblacionales y del entorno	Lic. Guillermo Calvo
Optimización de la degradación de basura domiciliar utilizando biorreactores a fin de establecer las condiciones óptimas de remoción de nitrógeno, metales y la carga orgánica in situ en los lixiviados y controlar adecuadamente los gases producidos	Lic. Federico Masís
Estudios epidemiológicos (malaria, dengue, virus del oeste del Nilo, completo virus encefalitis equina), genéticos, etológicos, poblacionales y de hábitat en monos de Costa Rica	Dr. Egdar Ortiz
Desarrollo de buenas prácticas de manejo agrícola e industrial de cuatri plantas, Phyllanthus niuri (chilillo), Senna reticulata (saragundí), Centella asiática (gota Kola) y Pettiveria alliaceae (ajillo) con potencial biactivo en las regiones Huetar Norte y Atlántica de Costa Rica	MSc. Elizabeth Arnáez
Extracción de ructosa a partir de biomasa residuales excedentes de la producción agrícola nacional	Lic. Federico Masís
Selección de cepas de microalgas para la producción de combustible	MSc. Maritza Guerrero

4.2.3 **Charlas informativas (Juan Chaves)**

Productos:

- Charlas informativas sobre nanotecnología y sus aplicaciones

Indicadores de logro:

- Al menos tres charlas informativas sobre nanotecnología y sus aplicaciones durante el año, dirigidas a profesores y estudiantes

Indicadores de logro alcanzados:

- Seis charlas informativas sobre nanotecnología y sus aplicaciones dirigidas a profesores y estudiantes

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Entre noviembre de 2009 y el 2010 se organizaron un total de 6 charlas informativas relacionadas con la nanotecnología y sus aplicaciones:

1. En el marco de la inauguración de la Semana de Inducción del 2010 del DOCINADE se llevó a cabo la charla “Aplicaciones de la nanotecnología en las ciencias naturales”
2. “Introducción a la nanotecnología”, en el Congreso Estudiantil de la I.E.E.E del 2009
3. “Introducción a la nanotecnología”, en la Semana Electrónica, en el primer semestre de 2010
4. “Introducción a la nanotecnología”, para estudiantes y profesores, en noviembre de 2009
5. Charla “Aplicaciones biomédicas de la nanotecnología”, ante el Consejo Institucional del ITCR, en el 2010
6. Charla “Introducción a la nanotecnología y sus aplicaciones”, en la actividad “Programa de Investigación en Nanotecnología: situación actual y perspectivas”, organizada como evento de inauguración interna para la comunidad del ITCR.

4.2.4 Exploración de temas de proyectos de investigación (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez)

Productos:

- Identificación de posibles temas para proyectos de investigación y los investigadores involucrados

Indicadores de logro:

- Al menos tres posibles temas identificados para proyectos de investigación y los investigadores involucrados

Indicadores de logro alcanzados:

- 13 temas para proyectos de investigación y 14 investigadores identificados

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Para determinar posibles temas de proyectos de investigación se llevaron a cabo reuniones con investigadores de las Escuelas de Química, Biología, Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental, Forestal, agronomía, del DOCINADE, del Programa de Investigación en eScience. Con base en reuniones con investigadores, la actividad “Programa de Investigación en Nanotecnología: situación actual y perspectivas”, organizada como evento de inauguración interna para la comunidad del ITCR y el Seminario NanoTEC se localizó a nuevos investigadores interesados en incorporar la nanotecnología en sus investigaciones. Esta lista se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Investigadores interesados en incorporar nanotecnología en sus investigaciones

Nombre	Escuela	Tema
Carlos Mata Montero	Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental	Sensores de gases y seguridad ocupacional en nanotecnología
Gabriela Morales Martínez	Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental	Sensores de gases
Federico Masís	Química	Estudio de suelos
Dora Flores	Biología	Germinación

Róger Moya	Forestal	Reforzamiento madera
Fabiana Rojas	Forestal	Germinación de árboles, reforzamiento de madera
María Lourdes Medina Escobar	Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental	Sensores de gases y seguridad ocupacional en nanotecnología
Maritza Guerrero	Biología	Transporte de nanotubos en las plantas
Virginia Montero	Química	Toxicología ambiental
Tomás Guzmán	Agronomía, Docinade	Germinación y biocidas
Santiago Núñez	Computación	Simulador de AFM y optimizador de configuración de AFM durante el rastreo de muestras
Noemi Quirós	Química	Detección y remoción de bromacil
Fabiola Jiménez	Química	Propiedades antibacteriales de las nanopartículas
Karla Valerín	Biología	Propiedades antibacteriales de las nanopartículas

Además se discutió específicamente el planteamiento de las siguientes ideas de proyectos:

- Detección y remoción de contaminantes químicos del agua utilizando nanotubos de carbono, enviada como propuesta a la ronda de proyectos 2010
- Propiedades antibacteriales de los nanotubos de carbono
- Liberación controlada de biocidas en la agricultura
- Nanosensores para el estudio fisionómico de las plantas
- Mejoramiento de lubricantes basados en nanotubos de carbono funcionalizados
- Seguridad ocupacional en el Laboratorio Institucional de Nanotecnología

4.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Objetivo: Estudio de factibilidad para la producción de nanotubos de carbono para actividades comerciales.

4.3.1 Estudio de costos (Marta Vílchez)

Estudiantes participantes: Wilberth Céspedes (Electrónica), Andrea Méndez (Materiales), Juan José Montero (Maestría en Electrónica), Wagner Montero (Materiales)

Productos:

- Estudio de costos de la producción de nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Costo final de la producción de nanotubos de carbono

Indicadores de logro alcanzados:

- Costo final de la producción de nanotubos de carbono

Porcentaje de cumplimiento: 95 %, pues los costos deberán actualizarse con la producción en masa

Puesto que al momento de realizar el estudio de costos aún no se contaba con la puesta en marcha del proceso HiPCO para la producción de nanotubos de carbono, las estimaciones de costos se realizaron con base en el prototipo de reactor por descarga de arco desarrollado por estudiantes bajo la tutoría de la profesora Marta Vílchez. Al ser este un reactor prototipo, aún no alcanza el rendimiento de un reactor industrial escalado, sin embargo permite dar una primera aproximación del costo. El posterior escalamiento y mejora del reactor, así como el uso del reactor de deposición química gaseosa adquirido para el Laboratorio Institucional de Nanotecnología permitirá disminuir el costo de producción de los nanotubos de carbono.

Tabla 5. Precio de productos usados para construir el reactor prototipo

Código	Productos a utilizar	Precio por unidad(₡)
1	Guantes	49,52
2	Llave paso	3963
3	Silicone gris	2320
4	Unión T	1274
5	Acople	629
6	Niple hexagonal	409
7	Manguera de 1 metro	635
8	Carboncillo original Hyundai	3000
9	Juego de carboncillos genéricos 4 unidades	2675
10	Sal (500g)	0,6 (gramo)
11	Bolsa de hielo	500
12	Bomba	55
13	Tarifa TMT punta	43
14	Horas asistente	1000
15	Mascarilla N95	110
16	Etanol galón 95%	1900
17	Éter etílico 1l	3100
18	Agua tarifa única	4050
19	Helio	1000

Tabla 6. Precio de productos usados en cada descarga

Código	Cantidad usada	Precio Unitario (₡)	Precio Total (₡)	Precio total (₡)
8	1	3000	3000	5,859375
1	8	49,52	396,16	0,77375
10	212	0,6	127,2	0,2484375
12	2	55	110	0,21484375
11	1	500	500	0,9765625
14	6	1000	6000	11,71875
16	0,15	1900	285	0,556640625
17	0,15	3100	465	0,908203125
15	4	110	440	0,859375
13	0,25	43	10,75	0,020996094
3	0,5	2320	1160	2,265625
18	0,02	4050	81	0,158203125
9	1	1000	1000	1,953125

Con los recursos listados en la Tabla 5, se obtienen 9.3mg de nanotubos de carbono. El costo de producción es de \$25,6. Esto arroja un costo por gramo de \$2753,3.

4.3.2 *Análisis FODA de la competitividad del ITCR en la venta de nanotubos de carbono (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Paola Vega)*

Productos:

- Diagnóstico de la situación del ITCR en el campo de la nanotecnología.

Indicadores de logro:

- Resumen ejecutivo de diagnóstico de la situación del ITCR en el campo de la nanotecnología.

Indicadores de logro alcanzados:

- Resumen ejecutivo de diagnóstico de la situación del ITCR en el campo de la nanotecnología. (Este diagnóstico se presenta en el anexo 1)

Porcentaje de cumplimiento: 100%

A continuación se presenta el análisis FODA del ITCR en la venta de nanotubos de carbono. Este FODA se discute en el resumen ejecutivo, junto con un análisis de entorno.

Fortalezas:

- a) Capacidad para la elaboración, caracterización y comercialización de nanotubos de carbono con un nivel de pureza de al menos 90%.
- b) Recurso humano especializado en la síntesis de nanotubos de carbono.
- c) Un grupo de especialistas en diversas áreas para la investigación y el desarrollo de aplicaciones de los nanotubos de carbono.

- d) Un grupo consolidado de estudiantes dedicados en tiempo parcial al estudio y síntesis de nanotubos de carbono.
- e) Instrumentación de alta tecnología para la síntesis de los nanotubos de carbono.
- f) Instrumentación de para la síntesis de los nanotubos de carbono desarrollada por los estudiantes del TEC.
- g) Laboratorio de investigación con equipos de caracterización únicos en el país.

Oportunidades:

- a) Ser la primera institución del país con un programa en nanotecnología enfocado a la producción de nanotubos de carbono en la actualidad.
- b) Ser pioneros en la potencial introducción de los nanotubos de carbono al mercado naciente de productos desarrollados con nanotecnología.
- c) Primera institución que enfoca la comercialización de nanotubos de carbono hacia mercados específicos (como el de pinturas y plásticos industriales)
- d) Mercados globalizados que presionan a las empresas costarricenses a mejorar su tecnología.
- e) Ausencia de proveedores de materia prima con aditivos de refuerzo como los nanotubos de carbono consolidados en el país.
- f) Inacción por parte de otros actores del campo de la nanotecnología.
- g) Apertura o disposición de empresarios contactados para la innovación de productos mediante el uso de nanotubos de carbono.
- h) Posibilidad de colocar parte de la producción de nanotubos como materia prima en otras investigaciones, dentro y fuera del TEC.

Debilidades

- a) Introducción de una tecnología innovadora poco conocida en nuestro país
- b) El Tecnológico de Costa Rica deberá ser tanto productor como comunicador de los beneficios potenciales de la nanotecnología a diferentes productos.

- c) Dependencia de unos pocos especialistas en la producción de nanotubos de carbono.
- d) Salida al mercado laboral de personal calificado y con entrenamiento en la síntesis, caracterización y comercialización de los nanotubos de carbono.
- e) Incapacidad del ITCR de retener a su personal capacitado en nanotecnología.
- f) Falta de escalamiento a nivel industrial.
- g) Falta de una estructura de costos a nivel industrial

Amenazas

- a) Transferencia de tecnología pobre y poco eficaz a los investigadores del Programa de Investigación en Nanotecnología
- b) Dependencia de un único encargado de laboratorio y entrenamiento
- c) Potenciales competidores nacionales emergentes en el mercado de nanotubos de carbono.
- d) Posible autoproducción de nanotubos de carbono por parte del mercado al que se enfoca su futura comercialización.
- e) Algún grado de rechazo por parte de las empresas de pinturas y plásticos industriales, por posibles temores en riesgos medioambientales o para la salud
- f) Potenciales competidores internacionales emergentes en el mercado de nanotubos de carbono
- g) Comercialización masiva de materiales o aditivos con base en nanotubos de carbono por parte de grandes consorcios internacionales.
- h) Presiones políticas y económicas que se reflejen negativamente por parte de otros actores del área de la nanotecnología.

4.4 DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE APLICACIÓN COMERCIAL Y VINCULACIÓN CON LA INDUSTRIA

Objetivo: Diagnosticar las áreas de aplicación comercial a corto plazo de los nanotubos de carbono y posibles alianzas estratégicas con la industria.

Productos:

- Lista de empresas relacionadas con nanotubos de carbono y sus áreas de desarrollo
- Lista de empresas latinoamericanas relacionadas con nanotecnología y sus áreas de desarrollo
- Lista de productos comerciales existentes y aplicaciones comerciales más importantes de nanotubos de carbono
- Identificación de productos en desarrollo y áreas de interés comercial a corto plazo
- Identificación de aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo (máximo 2 años)
- Lista de empresas costarricenses que podrían beneficiarse a corto plazo con tecnología de nanotubos de carbono
- Resumen ejecutivo

Indicadores de logro:

- Tres aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono identificadas en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo
- Al menos tres empresas costarricenses identificadas

Indicadores de logro alcanzados:

- Tres aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono identificadas en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo
- Al menos tres empresas costarricenses identificadas

Porcentaje de cumplimiento: 100%

4.4.1 Identificación de desarrolladores de productos de nanotubos de carbono (Juan Carlos Carvajal, Paola Vega)

Productos:

- Identificación de empresas relacionadas con nanotubos de carbono y sus áreas de desarrollo

Indicadores de logro:

- Lista de empresas relacionadas con nanotubos de carbono y sus áreas de desarrollo

Indicadores de logro alcanzados:

- Se completó la lista de las principales empresas de relacionadas con nanotubos de carbono y sus áreas de desarrollo

Porcentaje de cumplimiento: 100%

De acuerdo con búsquedas en Internet, patentes y bases de datos de productos, los desarrolladores de productos basados en nanotecnología se resumen en la Tabla 7. Al 2010 se registraban más de 2100 empresas alrededor del mundo relacionadas con nanotecnología, de las cuales 270 se dedicaban a la venta de materia prima nanotecnológica (nanotubos, nanopartículas, entre otros). [1]

Tabla 7. Comercializadores de productos nanotecnológicos a nivel mundial [2]

Nombre de la empresa	Producto o servicio especializado dentro del sector de la nanotecnología.
Advance Nanotech	Inversión y comercialización de nuevos productos.
Accelrys Inc	Tecnologías
Albany Molecular Research Inc	Investigación y desarrollo en medicinas
Altair Nanotechnologies	Nanocristales y nanopartículas.
AmberWave	"Strained silicon" que permite que los microchips funcionen de forma más rápida y consumen menos energía
American Pharmaceutical	Productos farmacéuticos inyectables

Partners	
American Superconductor Corp.	Superconductores
ANU	Nanotubos de carbón y nitrógeno Boron
Apex Nanomaterials	Nanotubos de carbón monocapas
Applied Films	Capas ultrafinas
Arryx	Láser, sistemas holográficos
Atomate	Reactores CVD para síntesis de nanotubos y nanocables.
BuckyUSA	Fullerenos y nanotubos
Caliper Life Sciences	Herramientas para descubrir medicinas y mejorar procesos de diagnóstico
CALMEC	Patentes, tecnología, investigación y desarrollo
Cambridge Display Technology	Tecnologías relacionadas con PLED.
CarboLex	Nanotubos de carbono monocapa
Carbon Nanotechnologies, Inc. (CNI)	Nanotubos de carbono monocapa (PLV and HiPCO), buckyballs, polímeros.
Carbon Solutions	Nanotubos de carbono
CombiMatrix	Genómica, Proteómica
Cyrano Sciences	Redes de sensores
DayStar Technologies	Energía renovable
DEAL International Inc.	Nanotubos de carbono
eSpin	Fibras polimerasa
FEI Company	Tecnologías para observar muestras en 3 dimensiones a nano escala
First Nano	Nanotubos de carbono, herramientas y aparatos
Genus	Atomic Layer Deposition (Depositar capas atómicas)
Guangzhou	Nanotubos mono- y multicapa
Hyperion	Nanotubos multicapa
Immunicon Corp	Plataforma para diagnosticar cáncer. Nanopartículas y ferrofluidos

Invest Technologies	Nano-polvos de metal
Insert Therapeutics	Sistemas de distribución intracelular de pequeñas medicinas moleculares y genes
Isonics Corp.	
Materials and Electrochemical Research (MER)	Nanotubos de carbono mono- y multicapa
Nanocarblab (NCL)	Nanotubos monocapa
Kopin HBT Corporation	
Kaweenaw Nanoscience Center	Investigación y desarrollo, consultoría
Lucent Technologies	Nanotecnología y telecomunicaciones
Lumera Corp.	Materiales y productos polímeros
Luxtera	Productos fotónicos
Molecular Manufacturing Enterprises	Servicios de asesoría
Magma Design Automation	Circuitos integrados complejos
Molecular Robotics	Nanotubos, MEMS, AFM, computación cuántica
Mitre	Investigación para el sector público
Moore Nanotechnology Systems	Sistemas maquinarios de ultra-precisión
Nanocs	Materiales de carbón para la nanotecnología
Nanocor	Nano minerales para resinas de plástico
Nanocyl	Nanotubos de carbono CVD
Nanogen	Microchip para análisis biológico
NanoLab	Nanotubos CVD
Nanoledge	Nanotubos de carbono monocapa
Nanometrics	Láminas ultrafinas
Nanomat	Materiales nanocristalinos y nanoestructuras
Nanomaterials Research Corporation	Polvos y materiales derivados
Nanomix	Sensores
Nanovation	Componentes fotónicos

NanoPierce	Conexiones eléctricas de nanopartículas
NanoPowders Industries	Polvos de metales preciosos y base
NanoPhase Technologies Corporation	Polvos y productos polímeros
Nanospectra Biosciences Inc	Nanopartículas para aplicaciones médicas. Nanoshells.
Nanosys	Sistemas de nanotecnología y nanoelectrónica.
Nanotec	Polímeros para tejidos inteligentes
NanoWave	Investigación y desarrollo
Nantero	Nanotubos de carbono
Neah Power Systems	Silicio poroso
Novavax	Productos farmacéuticos, vacunas
NEC	Telecomunicaciones, Internet, I+D
NVE Corporation	<i>Spintronics</i> que utiliza el movimiento de un electrón para detectar, almacenar o transmitir información digital
Orthovita	Biomateriales, nanopartículas
Physical Sciences Inc.	Membrana de nanotubos de carbón
Quantum Dot (Qdot)	Puntos cuánticos, nanocristales, conjugados
Rockwell Scientifics	Nanomateriales, fabricación y nanopartículas magnéticas
Rosseter Holdings Ltd	Nanotubos de carbono mono y multicapas
SEOCAL	Reactores CVD para nanotubos
SES Research	Fullerenos y nanotubos
SIMAGIS	Software para análisis automatizado de imágenes de nanotubos
Sun Nanotech	Nanotubos de carbono multicapas
Technanogy	Capital riesgo y propiedad intelectual
Thomas Swan & Co	Nanotubos de carbono monocapa Elicarb (proceso CVD)

Timesnano/Chinese Academy of Sciences	Nanotubos de carbono y productos relacionados
Ultratech	Herramientas para nanotecnología
Veeco	Instrumentos para medir a nano escala, microscopios de fuerza atómica
Zyvex	Manipulador Zybot, Sistema de montaje Rotapod y MNT.

Tabla 8. Comercializadores de nanotubos de carbono a nivel mundial

Empresa	Referencia
Advance NanoPower Inc.	http://www.anp.com.tw/
Ahwahnee	http://www.ahwahneetech.com/
AlphaNano Technology (PR China)	http://www.nano1979.com/
American Dye Source, Inc.	http://www.adsdyes.com/
Apex Nanomaterials	http://www.apexnanomaterials.com/
Arkema	http://www.arkema.com/
Arknano	http://www.arknano.com/
Arry International Group Limited	http://www.arry-nano.com/
Bayer MaterialScience	http://www.baytubes.de/
BUCKY USA	http://buckyusa.com/
CarboLex	http://www.carbolex.com/
Carbon 21	http://www.carbon-nanofiber.com/
Carbon Nanomaterial Technology	http://www.carbonnano.co.kr/english/index.htm
Carbon Nanotechnologies Incorporated	http://www.cnanotech.com/
Carbon Nanotube & Fiber 21	http://www.carbon-nanofiber.com/
Carbon Solutions, Inc.	http://www.carbonsolution.com/
Catalytic Materials LLC	http://www.catalyticmaterials.com/
Cheap Tubes, Inc.	http://www.cheaptubesa.com/
Chengdu Organic Chemicals Co. Ltd.	http://www.timesnano.com/

Cnano Technology	http:// www.cnanotechnology.com/cn/
C-Polymers	http://www.c-polymers.com/
FutureCarbon GmbH	http://www.future-carbon.de/englisch/
Global Nanotechnologies	http://www.glonatech.com/
Haydale	http:// www.haydale.com/index.php/
HeJi, Inc.	http://www.nanotubeseu.com/
HELIX	http://www.helixmaterial.com/
Hyperion Catalysis	http://www.hyperioncatalysis.com/
Idaho Space Materials	http://www.idahospace.com/
Iljin Nanotech Co., Ltd.	http://www.iljinnanotech.co.kr/
INP, Toulouse	http://www.inp-toulouse.fr/
Kemix	http:// www.kemix.com.au/
LiftPort Group	http://www.liftport.com/
LITMUS Nanotechnology	http://www.litmusgti.com/
MER Corporation	http://www.mercorp.com/
MicroTechNano	http://www.cizgifilmlerizle.com/
Mknano	http://www.mknano.com/
Molecular Nanosystems	http://www.monano.com/
MTR Limited	http://www.mtr-ltd.com/
Nano NB	http://www.nanonb.com/
Nano-C	http://www.nano-c.com/
NanoCarLab	http://www.nanocarlab.com/
Nanocomp Technologies	http://nanocomptech.com/index.html
Nanocs	http://www.nanocs.com/
Nanocyl	http://www.nanocyl.com/
NanoLab	http://www.nano-lab.com/
Nanoshel	http://www.nanoshel.com/
Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.	http://www.nanoamor.com/
Nanothinx	http://www.nanothinx.com/

Nano-Vision Tech	http://www.nanovistech.com/
n-Tec	http://www.n-tec.no/
NTP	http://www.nanotubes.com.cn/
Polytech & Net GmbH	http://www.polytech-net.de/content/
Quantum Materials Corporation	http://www.quantum-materials.in/
Raymor Industries	http://www.raymor.com/
Reade	http://www.reade.com/
Rosseter	http://www.e-nanoscience.com/
Selah Technologies	http://www.selahtechologies.com/
SES Research	https://www.sesres.com/Nanotubes.asp
Shenzen Nano-Technologies Port Co., Ltd.	http://www.nanotubes.com.cn/index.htm
SinoTubes	http://www.sinotubes.com
SkySpring Nanomaterials, Inc.	http://www.ssnano.com/nanotubes
SouthWest Nanotechnologies	http://www.swnano.com/
Sunano	http://www.nanomaterialstore.com/
SUNNANO	http://www.sunnano.com/
Tailored Materials Corporation	http://www.tmcnanotech.com/
TecoNanotech Co. Ltd.	http://www.teconano.com.tw/
Thomas Swan	http://www.thomas-swan.co.uk/
Thomas Swan & Co. Ltda.	http://www.thomas-swan.co.uk/
Xintek	http://www.xintek.com/
Yunnan Great Group	http://www.chinagreat.net/
Zyvex Performance Materials	http://www.zyvexpro.com/what-we-do
ANU	Multiwalled BN Nanotubes Thin multiwalled BN nanotubes BN nanotubes layers

Esta lista de empresas no es, ni pretende ser exhaustiva. La industria nanotecnológica está liderada por los Estados Unidos, seguido por Europa y Asia.

4.4.2 Empresas de nanotecnología en América Latina (Juan Carlos Carvajal, Paola Vega)

Productos:

Identificación de empresas latinoamericanas relacionadas con nanotecnología y sus áreas de desarrollo

Indicadores de logro:

- Lista de empresas latinoamericanas relacionadas con nanotecnología y sus áreas de desarrollo

Indicadores de logro alcanzados:

- Lista de empresas latinoamericanas relacionadas con nanotecnología y sus áreas de desarrollo

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Según la información disponible, en América Latina esta es un área de negocios muy nueva y aún no se encuentran empresas reconocidas en este campo. Lo que se encuentran son subsidiarias o empresas representantes de grandes compañías que son líderes a nivel mundial. Los países que más avances tienen en nanotecnología son Brasil, México y Argentina.

Se encontraron dos redes de distribuidores de productos nanotecnológicos:

Nanotec Latina, en Argentina, www.nanoteclatina.com/

Nanosoluciones, en México, <http://www.nano-soluciones.com/tiendavirtual/index.htm>

4.4.3 Aplicaciones comerciales y su viabilidad (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Paola Vega, Juan Chaves)

Productos:

- Lista de productos comerciales existentes y aplicaciones comerciales más importantes de nanotubos de carbono
- Identificación de productos en desarrollo y áreas de interés comercial a corto plazo
- Identificación de aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo (máximo 2 años)
- Resumen ejecutivo

Indicadores de logro:

- Tres aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono identificadas en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo

Indicadores de logro alcanzados:

- Tres aplicaciones comerciales de nanotubos de carbono identificadas en las que el ITCR puede incursionar a corto plazo

Porcentaje de cumplimiento: 100%

En la tabla 9 se muestra la lista de productos comerciales existentes y aplicaciones comerciales más importantes de nanotubos de carbono, de acuerdo con búsquedas realizadas en Internet.

Tabla 9. Productos y aplicaciones existentes de los nanotubos de carbono

Empresa	Productos	Referencia
Nanocyl	Plásticos conductores, recubrimientos antiestáticos, recubrimientos retardantes de combustión, resinas epóxicas, dispersiones acuosas, recubrimientos para la industria naviera	http://www.nanocyl.com/en/Products-Solutions/Materials

Nanocomp Technologies, Inc.	Nanocomp C-TeX™ Yar	http://www.nanocomptech.com/html/nanocomp-technology.html
Bayern y Kuraray Living Co. Ltd.	Tela calentadora	http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scc~news~scid~4081~.html?action=longview
Baboloat	Raquetas de tenis	
Pyrograf Products Inc.	Pyrograf®-III: fibras de nanotubos de carbono para reforzamiento y conductividad de polímeros	http://www.pyrografproducts.com/
Nantero	Logic NRAM® Microelectronic-grade Carbon Nanotube Coating Other Products	
Zyvex	Arovex (material compuesto), Epovex (adhesivo), Zymer (hule) para implementos deportivos, y aplicaciones en el área automovilística, naviera, aeroespacial y defensa	www.zyvex.com
Daiken Chemical Co., Ltd	Carbon Nanotube Probe for Atomic Force Microscopes	http://www.osaka.cci.or.jp/gcp/e/list/pdf/Daiken_Chemical.pdf

Por otra parte la búsqueda permitió identificar en desarrollo y áreas de interés comercial a corto plazo relacionadas con nanotubos de carbono. Estas áreas son:

- Agricultura (aceleración de la germinación)
- Textiles inteligentes
- Reforzamiento de plásticos y madera

- Mejoramiento de pinturas
- Mejoramiento de lubricantes

Según las áreas de investigación y experiencia del ITCR, las necesidades del país y las áreas de interés comercial identificadas, las tres aplicaciones comerciales de los nanotubos de carbono más importantes en las que puede incursionar el ITCR son:

- Agricultura, iniciando con la aceleración de los procesos de germinación
- Textiles, desarrollando tintes o tratamientos para telas con nanotubos de carbono para lograr propiedades antimanchas. Otras partículas podrían incorporarse para incluir más propiedades.
- Pinturas, para lograr pinturas que repelan el agua y mejorar sus propiedades mecánicas para hacerlas más fuertes ante las rayaduras

El resumen ejecutivo de los resultados de esta actividad se adjunta en el anexo 2.

4.4.4 Identificación de alianzas industriales (Juan Carlos Carvajal, Marta Vílchez, Juan Chaves, Paola Vega)

Productos

- Lista de empresas costarricenses que podrían beneficiarse a corto plazo con tecnología de nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Al menos tres empresas costarricenses identificadas

Indicadores de logro alcanzados:

- Seis empresas costarricenses identificadas

Porcentaje de cumplimiento: 100%

Hasta este momento, las empresas con las que se ha establecido contacto y que podrían beneficiarse con la tecnología de nanotubos de carbono son:

- Ing. Edgar Navarro, Constructora Navarro y Avilés
- Cafre S.A., creadores de la marca Hot Jeans Wear, Carlos Araya
- HB Füller y las otras empresas del sector pinturas
- LAICA
- Ecotanque
- Agricultores de Llano Grande interesados en aplicar las propiedades antibacteriales de los nanotubos de carbono

Para lograr un primer panorama de comercialización de nanotubos de carbono se desarrolló un estudio de mercado exploratorio [3] en el sector pinturas y plásticos, con ayuda de la Escuela de Administración de Empresas y el Centro de Vinculación Universidad-Empresa. En este estudio se encuestaron 14 empresas, y se observó una amplia aceptación a la nanotecnología como fuente de innovación para sus negocios. El estudio tiene como propósito la obtención de información que permita establecer una estrategia de mercadeo para la introducción de los nanotubos de carbono a nivel de las industrias de plástico y pinturas de Costa Rica. La población de estudio estuvo constituida por la totalidad de empresas que conforman el sector de fabricación de pintura y plásticos industriales, localizadas en el territorio costarricense en el mes de Octubre del año 2010. En total son 12 empresas, siete se dedican a la fabricación de pintura y cinco a la fabricación de plásticos industriales. Se determinó que las empresas dedicadas a la fabricación de pintura y plástico industrial localizadas en el territorio costarricense no utilizan en sus procesos productivos los nanotubos de carbono; no existe ninguna empresa la cual haya incorporado dicho material a la composición de sus productos finales. Sin embargo todas mostraron anuencia a adquirir nanotubos de carbono para incorporarlos en sus procesos productivos. La razón principal que motiva a los Gerentes de Producción entrevistados a valorar la posibilidad de incorporar nanotubos de carbono a sus productos es su afán de innovación, que les permita crear un producto que sea más competitivo en el mercado, y al mismo tiempo, si el producto reduce considerablemente los costos de fabricación

con mucha más razón están dispuestos a adquirirlo. Además, todos estarían interesados en utilizar nanotubos de carbono nacionales. La principal razón es ahorrar los costos que produciría importarlos de otros país, además de la facilidad de contactarse directamente con los expertos y la garantía que les brinda una institución estatal.

Otras posibles alianzas Industriales identificadas son:

- Solarium Tech Park
- Patrocinadores del Programa: Leica Microsystems, Marine Reef International, Nanosurf, Nanoscience Instruments, Hitachi

Se llevó a cabo una reunión con empresas del sector biomédico y de manufactura avanzada en coordinación con CINDE, para dar a conocer las actividades del ITCR en el campo de la nanotecnología. Como seguimiento a la reunión, se acordó planear una reunión con las casas matrices para difundir esta información con miras a acciones futuras y para determinar los posibles campos de acción más inmediatos.

4.5 COOPERACIÓN ACADÉMICA

Objetivo: Fomentar la cooperación académica del ITCR con universidades e instituciones nacionales y extranjeras.

Productos:

- Actividades de capacitación en nanotecnología en conjunto con Lanotec
- Convenio marco con Lanotec
- Encuentro de investigadores en Lanotec
- Posibles temas de trabajo conjunto con Lanotec
- Establecimiento de contacto con universidades extranjeras
- Establecimiento de contacto con universidades estatales

Indicadores de logro:

- Al menos una actividad de capacitación ejecutada
- Convenio marco firmado con Lanotec
- Al menos un encuentro ejecutado
- Al menos dos posibles temas de trabajo identificados para trabajo conjunto con Lanotec
- Al menos un convenio marco firmado con una universidad extranjera
- Temas identificados para trabajo conjunto con universidades estatales

Indicadores de logro alcanzados:

- Una actividad de capacitación ejecutada
- Convenio marco firmado con Lanotec
- Un encuentro de investigadores ejecutado
- Tres temas identificados para trabajo conjunto con Lanotec
- Un convenio marco firmado con la Universidad Estatal de California en Long Beach
- Dos temas identificados para trabajo conjunto con universidades estatales

Porcentaje de cumplimiento: 100%

4.5.1 Cooperación con Lanotec (Paola Vega)

Indicador 1: Al menos una actividad de capacitación en el área de nanotecnología en conjunto con Lanotec

Por iniciativa del Programa de Investigación en Nanotecnología, se organizó un encuentro de investigadores en el cual se amplió el grupo meta, invitando a las cuatro universidades estatales y en general a organismos e instituciones de educación e investigación. Este Taller de Vinculación se realizó el 29 de agosto en CENAT, en modalidad taller con una duración de un día y la participación de 35 personas. La minuta y agenda de este encuentro se adjunta en el anexo 3.

En la primera parte del taller se contó con la intervención del Director de CENAT, Eduardo Sibaja, Dr.-Ing. Paola Vega, Dr. Sergio Madrigal, Dr. Víctor Hugo Soto e Ing. Santiago Núñez. En la mañana se dieron a conocer las capacidades y actividades del Lanotec y en la tarde se realizó un foro moderado por Dr. José Vega (Lanotec), M.Sc. Ileana Moreira (ITCR), Ing. Santiago Núñez (MICIT), Dr. Sergio Madrigal (UNA), Dr. Víctor Hugo Soto (UCR), Ing. Rodolfo Hernández (UNED).

Posteriormente se realizó un segundo Taller de Nanotecnología en el CENAT, con la participación de las cuatro universidades estatales, Lanotec y MICIT. El taller se llevó a cabo el 28 de noviembre de 2011. La asistencia fue de 30 personas.

El programa del taller cubrió los siguientes temas:

- Nanoescala y sus consecuencias, Dr. José Vega (LANOTEC)
- Caracterización en nanotecnología, M.S.E.E. Juan Chaves (ITCR)
- Química Supramolecular, Dr. Víctor Hugo Soto (UCR)
- Nanotecnología Digital, Ing. Santiago Núñez (MICIT)
- Comercialización de la nanotecnología, Dr.-Ing. Paola Vega (ITCR)

Además, el 27 de octubre de 2012 se firmó convenio marco ITCR-Lanotec.

Por otra parte, en reuniones realizadas con el Dr. José Vega Baudrit, se determinaron tres temas de cooperación:

- 1) Comunidad de Nanociencias, en la cual el ITCR participa junto con otras universidades con miras al futuro establecimiento de un doctorado virtual en nanociencias. Esta comunidad es coordinada por Lanotec.
- 2) Proyecto Nanotrailer, junto con CRUSA, el Ministerio de Educación Pública y Estrategia Siglo XXI, para llevar la experiencia de la nanotecnología a niños y colegiales de las zonas rurales (Juan Chaves)
- 3) Presentación de solicitud a fondo de incentivos para adquisición de un equipo de espectroscopía Raman, dentro del cual se incluyó financiamiento para el proyecto de

investigación “Estudio del efecto de los nanotubos de carbono en el desarrollo y el enraizamiento in vitro de especies leñosas”.

4.5.2 Cooperación con universidades extranjeras (Paola Vega, Juan Chaves)

Se firmó un convenio marco con la Universidad Estatal de California en Long Beach que abriría las puertas para intercambio de estudiantes e intercambio de investigadores en el área de la nanotecnología. No se ha firmado un convenio específico para actividades de cooperación pero se acordó el intercambio de estudiantes de maestría. Se establecieron contactos con la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA), la Universidad de California en Irvine (UCIrvine), la Universidad de Nevada y con Virginia Tech, así como con la UNAM. Como se mencionó anteriormente, con la UNAM se presentaron dos propuestas, una acción puntual y un proyecto integral en el campo de la nanotecnología ambiental y la detección y remoción de contaminantes químicos del agua, respectivamente.

En Estados Unidos, se contactó específicamente a las siguientes personas:

- Dr. Miguel García Garibay, Universidad de California en los Ángeles (UCLA), Departamento de Química, sobre métodos de síntesis en nanotecnología
- Dr. Marc Madou y el Dr. Goran Matijasevick, Universidad de California en Irvine (UC Irvine), Departamento de Ingeniería Mecánica, para el área de sistemas microelectromecánicos
- Dra. Tulin Manjir y el Dr. Mahyar Amouzegar, Universidad Estatal de California en Long Beach (CSULB), sobre el tema de nanotubos de carbono

Con los profesores arriba mencionados se discutió la posibilidad de intercambio de estudiantes de maestría y de doctorado, así como de profesores para pasantías de investigación y postdoctorado en nanotecnología.

Durante el XII Simposio Latinoamericano de Polímeros se integró al ITCR en la Comunidad de Nanociencias organizada durante el simposio. Esta es una comunidad

iberoamericana con el fin de desarrollar proyectos de educación conjuntos y establecer contactos para cooperación e investigación.

Durante la visita al ITCR del Dr. Roop Mahajan, director del ICTAS del Virginia Tech, se estableció contrato para posibles pasantías de profesores.

4.5.3 Cooperación con universidades costarricenses (Paola Vega, Juan Chaves)

Se realizaron reuniones con la Escuela de Química de la UCR, específicamente con el grupo Nanofem, con el cual se planteó un proyecto de microelectrónica en la ronda 2010 de la VIE, patrocinado parcialmente por Intel. También se acordó cooperación en la caracterización de muestras a precios académicos con el fin de determinar si son aptas para las aplicaciones que se han identificado como posibles para los materiales desarrollados a la UCR. Se presentó en conjunto con la UCR, la UNA y la UNED un proyecto FEES para iniciar en el 2011 consistente en la creación de cursos de laboratorio en nanotecnología y materiales avanzados para programas de licenciatura y bachillerato en ingeniería y ciencias en la UCR y el ITCR, donde se realizará el intercambio de estudiantes y profesores en los cursos, que llevarían en forma parcial en la UCR y forma parcial en el ITCR. El papel de la UNED en este caso es de asesoría didáctica, así como la plataforma del curso en la plataforma virtual de la UNED para posteriormente fortalecer sus cursos de ciencias básicas. Por otra parte, la UNA participaría incorporando la componente de educación ambiental y sostenibilidad en estos cursos de laboratorio.

4.6 DIVULGACIÓN

Objetivo: Difundir el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología

Productos:

- Charlas dirigidas a profesores y estudiantes

- Artículos en la prensa nacional sobre el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología
- Investigadores adicionales del ITCR interesados en plantear o participar en proyectos
- Artículos de divulgación en InvestigaTEC
- Programas en ImpactoTEC dedicado al quehacer del ITCR en nanotecnología
- Charlas a empresarios sobre la nanotecnología en la industria, específicamente los nanotubos de carbono

Indicadores de logro:

- Al menos tres charlas durante el año, dirigidas a profesores y estudiantes
- Al menos un artículo en la prensa nacional sobre el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología
- Identificación de al menos 5 investigadores adicionales del ITCR interesados en plantear o participar en proyectos
- Al menos un artículo de divulgación en InvestigaTEC
- Al menos un programa en ImpactoTEC dedicado al quehacer del ITCR en nanotecnología
- Al menos una charla dirigida a empresarios sobre la nanotecnología en la industria, específicamente los nanotubos de carbono

Indicadores de logro alcanzados:

- Seis charlas dirigidas al público general, seis estudiantes y profesores (véase sección 4.2.3)
- Tres artículos en la prensa nacional sobre el quehacer del ITCR en el área de la nanotecnología, 16 en InformaTEC
- Diez investigadores adicionales interesados en plantear o participar en proyectos
- Dos artículos de divulgación en InvestigaTEC
- Nueve programas en ImpactoTEC dedicados al quehacer del ITCR en nanotecnología

- Al menos una charla dirigida a empresarios sobre la nanotecnología en la industria, específicamente los nanotubos de carbono

Porcentaje de cumplimiento: 100%

4.6.1 Divulgación al público en general (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez)

Inicialmente este producto se planteó como charlas dirigidas a profesores y estudiantes, sin embargo se amplió para incluir al público en general.

Se llevaron a cabo las siguientes charlas:

- 1) Lección inaugural del Colegio Científico de Cartago en el 2010
- 2) Apertura de la sede de FUNDATEC en el Parque Tecnológico Solarium Tech Park
- 3) En el XII Congreso de Ciencia, Tecnología y Sociedad, realizado en la Universidad Técnica Nacional, del 26 al 28 de agosto de 2010 se presentaron las siguientes ponencias, con sus respectivos artículos relacionados con el Programa de Investigación en Nanotecnología:

- Introducción a la nanotecnología: educando a la Costa Rica de la alta tecnología en el mundo globalizado, a cargo de Dra. Paola Vega
- Nanotubos de carbono y sus aplicaciones, a cargo de MSEE. Juan Chaves
- Sistemas Microelectromecánicos, a cargo de MBA. Marta Vílchez
- Aplicaciones ambientales de la nanotecnología, a cargo de Lic. Ricardo Coy

4.6.2 Artículos en la prensa nacional (Paola Vega)

Se han divulgado 3 artículos en El Financiero:

- una nota corta con respecto al Programa de Investigación en Nanotecnología

- Suplemento de Ideas Innovadoras, con el proyecto Spiderbot (Robots miniaturizados: diseño, implementación y aplicaciones)
- Un reportaje del proyecto Spiderbot y dentro de éste un recuadro del Programa de Investigación en Nanotecnología
- Un reportaje sobre el proyecto de purificación de agua utilizando nanotubos de carbono

Se publicó un artículo informativo en InvestigaTEC con respecto a la creación del Programa de Investigación en Nanotecnología. También se envió a publicación un artículo divulgativo del Programa de Investigación en Nanotecnología para la edición especial de Tecnología en Marcha sobre el Encuentro de Investigación y Extensión 2010.

4.6.3 Ampliación del grupo de investigadores (Paola Vega, Marta Vílchez)

Además de los investigadores proponentes del programa y los participantes iniciales se identificaron investigadores adicionales interesados en plantear o participar en proyectos de nanotecnología:

- M.Sc. Noemi Quirós Bustos, Escuela de Química
- M.Sc. Fabiola Jiménez Rodríguez, Escuela de Química
- BQ. Aura Ledezma Espinoza, Escuela de Química
- BQ. Federico Masís Meléndez, Escuela de Química
- M.Sc. Ricardo Starbird Pérez, Escuela de Química, quien partió a Alemania a la Universidad Técnica Hamburg-Harburg a doctorarse en la síntesis de polímeros conductivos utilizando nanotubos de carbono.
- Dra. Lía Castro Vargas, Escuela de Física
- B.Sc. Laura Rojas Rojas, Escuela de Física, quien partió para estudios de Maestría en Nanotecnología con énfasis en Biología a Finlandia por medio del programa E2NHANCE
- Dr. Tomás Guzmán Hernández, del DOCINADE
- Ing. Carlos Mata, Escuela de Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental

- Ing. Lourdes Medina, Escuela de Seguridad Ocupacional e Higiene Ambiental

4.6.4 Artículos divulgados en InformaTEC (Paola Vega, Juan Chaves, Marta Vílchez)

- Conferencia sobre investigación en nanotecnología. Un pequeño mundo que realiza grandes cosas.
- Investigación en alta tecnología. Spiderbot: un minirobot creado por el TEC para el desarrollo de la tecnología en Costa Rica
- Spiderbot: un minirobot creado por el TEC para el desarrollo de la tecnología en Costa Rica.
- TEC a la vanguardia en sistemas electromecánicos en el país.
- Desde el Consejo Institucional. Programas de Investigación en Nanotecnología y en Física de Plasmas, de interés institucional.
- TEC podría posicionarse como líder en nanotecnología... ¿provocará la segunda revolución industrial?
- Expertos abren el camino hacia la nanotecnología.
- Doctora Paola Vega Castillo "Me quedé en el país para retribuirle las oportunidades que me dio"
- Doctor Juan Scott Chaves. Dos pequeñas, pero grandes razones para vivir en Costa Rica
- Estudiantes del TEC muestran potencial emprendedor, creatividad e innovación.
- El Financiero premió la innovación en el TEC.
- Programa de Investigación en Nanotecnología y en Física de Plasmas, de interés institucional.
- Investigador del Tecnológico de Costa Rica gana Premio Estrategia Siglo XXI.
- Juan Scott Chaves Noguera. Investigador del Tecnológico de Costa Rica gana Premio Estrategia Siglo XXI.
- Investigador del TEC, ganador de Estrategia Siglo XXI. Premio a nuevos aportes al conocimiento
- Premios a nuevos aportes al conocimiento.

4.6.5 Artículos divulgados en InvestigaTEC (Paola Vega)

- TEC crea Programa de Investigación en Nanotecnología.
- Investigadores capacitan en teoría de nanotubos de carbono y uso de equipo especializado para la identificación.
- TEC ha destinado más de 2 mil millones de colones para equipo científico y tecnológico.

4.6.6 Programas de radio en ImpactoTEC (Paola Vega, Juan Chaves)

En la radio se han realizado los siguientes programas en Impacto TEC:

- Viernes 25 de abril de 2009: La Nanotecnología en el mundo y en Costa Rica. Dra. Paola Vega.
- Sábado 2 de mayo de 2009: ¿Qué es nanotecnología? Dra. Paola Vega
- Sábado 17 de octubre de 2009: TEC recluta a destacado científico. Nanotubos de carbono, MSEE Juan Chaves
- Sábado 28 de noviembre de 2009: Tecnologías emergentes en Costa Rica y el mundo, Dra. Paola Vega
- Sábado 2 de enero de 2010: Desarrollo Nanotecnología CR y biografía científica. MSEE. Juan Chaves
- Sábado 23 de enero de 2010: Revolución científica e industrial de la mano de la Nanotecnología. MSEE. Juan Chaves
- Sábado 24 de julio de 2010: Proyecto desarrollado por el TEC en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma de México para desarrollar un método alternativo y económico para detectar contaminantes en el agua, Licda. Noemí Quirós
- Sábado 21 de agosto de 2010: Premio Estrategia Siglo XXI concedido al investigador Juan Chaves por su proyecto “Técnica de purificación y segregación de nanotubos de carbono”, MSEE. Juan Chaves

- Sábado 28 de agosto de 2010: Apertura de programa Técnico en Nanotecnología a cargo del TEC. Lo que convertirá al país en una posición ventajosa al estar a la vanguardia en este campo, Dra. Paola Vega

Adicionalmente se enviaron cápsulas informativas a CANARA el marco del Mes de la Ciencia y la Tecnología con los temas:

- Spiderbot
- Tratamiento de aguas utilizando nanotubos de carbono
- Programa de Investigación en Nanotecnología

También se exhibió un poster sobre el Programa de Investigación en Nanotecnología en el XII Simposio Latinoamericano de Polímeros, realizado en Costa Rica en julio de 2010.

Así mismo, en el IV Encuentro de Investigación y Extensión realizado el 3 y 4 de noviembre del 2010 se organizaron actividades divulgativas del Programa de Investigación en Nanotecnología.

4.6.7 Divulgación a la industria (Juan Chaves, Paola Vega)

Se llevaron a cabo charlas dirigidas a la industria y sectores profesionales a cargo de Juan Chaves:

- Fedecoop, Congreso Anual de Caficultores
- Colegio de Ingenieros Agrónomos
- Congreso Nacional de Pediatría, Asociación Costarricense de Pediatría
- Proinnova
- Hospital de Heredia San Vicente de Paúl, charla para médicos cirujanos

También se llevaron a cabo las siguientes charlas

- Lanamme, UCR, “Oportunidades de Costa Rica en la nanotecnología”
- CONICIT, “Nanotecnología en el área biomédica”
- “Nanotecnología en el área biomédica”, en atención a la Viceministra de Salud al ITCR
- Nanotecnología en la agricultura, en atención a LAICA durante una visita al ITCR, a cargo de Paola Vega y Juan Chaves
- Presentación del Programa de Investigación en Nanotecnología en CINDE a Hologic, Boston Scientific, St. Jude Medical, a cargo de Paola Vega y Juan Chaves

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las actividades realizadas en esta actividad de fortalecimiento fueron un importante apoyo para el Programa de Investigación en Nanotecnología, convirtiéndose en el brazo de divulgación del Programa en sus etapas iniciales, en las que contaba con pocos investigadores. Permitió posicionar al Programa de Investigación en Nanotecnología en el panorama científico y tecnológico nacional.

Por medio de las charlas y reuniones con investigadores fue posible involucrar a más Escuelas e investigadores en el tema de la nanotecnología, lo cual desembocó en ideas de proyectos e identificación de temas que pueden desarrollarse aprovechando el conocimiento disponible en el ITCR.

También fue posible establecer lazos con investigadores de universidades nacionales y extranjeras, que desembocaron en relaciones tendientes a la realización de actividades conjuntas. En el caso específico de la UCR, llevó a la presentación del proyecto FEES “Generación de cursos de laboratorio en nanotecnología y materiales”, al cual se unieron la UNA y la UNED. También se logró estrechar relaciones con el Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC), con el que se empezarán a trabajar iniciativas en el área de capacitación como primer paso para establecer otras formas de colaboración. En el caso de la UNAM, aunque se plantearon una serie de actividades

para cimentar un grupo de investigación ITCR-UNAM en una convocatoria a la Embajada de México, estas acciones no pudieron concretarse debido a que la Embajada reclasificó la propuesta como “propuesta educativa”, con lo que se eliminó la posibilidad de otorgarle fondos. Se establecieron lazos de cooperación y un acuerdo marco con la Universidad Estatal de California en Long Beach para el futuro intercambio de estudiantes de maestría.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos en esta actividad permiten tener una visión más amplia y clara sobre las posibles aplicaciones de los nanotubos de carbono que pueden ser adoptadas por el sector productivo nacional, con el fin de orientar los esfuerzos de vinculación hacia una cartera de proyectos y transferencia tecnológica de impacto a corto plazo. También se establece una panorámica clara sobre la situación actual del ITCR en el área de nanotecnología, siendo un insumo muy útil para el planteamiento de estrategias, objetivos y actividades del Programa de Investigación en Nanotecnología. El detalle de estos diagnósticos se discute ampliamente en los anexos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las actividades realizadas contribuyeron a ampliar el grupo de investigadores del Programa de Investigación en Nanotecnología.
- Se construyó una base de conocimiento común por medio de la creación de un acervo bibliográfico, las actividades divulgativas y de capacitación, que permitieron iniciar la preparación teórica y experimental de los investigadores en nanotecnología.
- Se logró obtener mayor claridad del panorama comercial de nanotubos de carbono y sus aplicaciones, permitiendo definir áreas de mayor impacto y oportunidad para el ITCR en el corto plazo.
- Se lograron los primeros contactos para el intercambio de investigadores y estudiantes en el extranjero así como la cooperación con entes nacionales.

- Se posicionó al ITCR como un actor relevante en el campo de la nanotecnología en el país, logrando captar la atención del gobierno, la empresa privada y el público en general, así como posibilidades de investigación financiadas total o parcialmente por la industria.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos y hacemos un reconocimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión por su fuerte apoyo tanto administrativo como financiero a esta iniciativa. Igualmente agradecemos todo el apoyo del Centro de Vinculación Universidad-Empresa y la Escuela de Administración de Empresas a esta actividad y en general a los participantes del Programa de Investigación en Nanotecnología.

Agradecemos y reconocemos el trabajo del equipo de investigadores, tanto profesores como estudiantes, que contribuyeron o han contribuido a los resultados presentados en este informe, algunos de los profesores sin estar oficialmente registrados como investigadores en el proyecto, aunque llevando a cabo sus labores con entrega y responsabilidad.

8. REFERENCIAS

- [1] <http://www.nanowerk.com/news/newsid=16967.php>
- [2] <http://www.euroresidentes.com/>. Euroresidentes. Ityls Siglo XXI, Nanotecnología. Empresas especializadas en nanotecnología, España.
- [3] Informe de Investigación de mercados en Nanotubos de carbono. Ruth Córdoba Sánchez, Karen Herrera Brenes, Priscilla Ulloa Meléndez. II Semestre, 2010. Profesor guía: Oscar Chacón Navarro, Escuela de Administración de Empresas

9. ANEXOS

Anexo 1. Resumen ejecutivo: Diagnóstico de la situación del ITCR en el campo de la nanotecnología

1. Análisis del Entorno

a) La nanotecnología y el ambiente

Nuestro país posee una gran riqueza natural que puede ser explotada utilizando la nanotecnología, por medio del desarrollo de aplicaciones ambientales y de la biomimética. El uso de la nanotecnología en aplicaciones ambientales es un nicho no explotado en el país y que puede convertirlo en un proveedor/exportador de tecnología verde de punta, lo cual está acorde con la imagen ecológicamente responsable e innovadora con la que el país se proyecta al mundo. Para esto el ITCR presenta fortalezas tales como la existencia de las carreras de biotecnología e ingeniería ambiental.

Existe una diversidad de problemas ambientales que atender y que podrían solucionarse utilizando la nanotecnología, tales como la remoción y detección de contaminantes en agua, suelo y aire, así como la sustitución y dosificación de biocidas y otros agroquímicos.

Sin embargo, paralelo a este campo de aplicación, la nanotecnología enfrenta uno de sus mayores retos: el estudio de la ecotoxicología de nanomateriales. Respecto a este tema existe muy poca literatura a nivel mundial, además de la falta de estándares para definiciones, medición y protocolos. Los efectos de la nanotecnología en el ambiente son prácticamente desconocidos. Por esta razón no debe promoverse la liberación de nanopartículas al ambiente. Estas deben poder recolectarse nuevamente, y de preferencia mantenerse adheridas a un sustrato de fácil recolección. Por otra parte, no existen estándares, protocolos o procedimientos documentados para la disposición de nanomateriales.

Independientemente de que un país desarrolle productos nanotecnológicos o no, es de vital importancia la formación de recurso humano en el área de la ecotoxicología y la disposición de desechos nanotecnológicos. Debe también crearse la legislación local adecuada este efecto. Esta necesidad es un reto que puede volverse una gran oportunidad para el ITCR al integrarse a iniciativas internacionales para la definición de estándares y protocolos de disposición y aplicación de materiales nanotecnológicos, convirtiéndolo en un ente referente en el país y articulando sus esfuerzos con el Ministerio de Ambiente y Energía. Ya se logró un primer acercamiento y asesoramiento al MINAET sobre la posición del país en el uso de materiales nanotecnológicos y estandarización internacional del manejo de nanopartículas y nanomateriales basados en la categorización de materiales de riesgo químico.

b) Entorno económico y empresarial

Toda empresa necesita de la innovación para mejorar su competitividad. En este aspecto, el mejoramiento de un producto por medio de la nanotecnología puede ser un aspecto diferenciador para competir en calidad y como estrategia de mercadeo para lograr un mejor posicionamiento en el mercado.

La nanotecnología es una tecnología emergente, principalmente en la región centroamericana, donde tanto Guatemala como El Salvador han tomado primeras acciones en el campo de la capacitación de investigadores, pero con débil inversión en

equipamiento e infraestructura y sin que esto se haya traducido aún en productos. Por otra parte, es probable que las condiciones económicas en estos países no incentiven a los empresarios para realizar inversiones en innovación, especialmente en tecnologías disruptivas.

El éxito de una iniciativa de nanotecnología en el sector público y privado en Centroamérica depende en buena medida de las facilidades de adquisición y financiamiento de equipo y la expansión oportuna, ágil y planificada de las operaciones.

El monto de la inversión inicial es considerable. Según las primeras normas internacionales de estandarización, existen cinco instrumentos de caracterización que se consideran primordiales en nanotecnología: microscopio de transmisión electrónica, microscopio de fuerza atómica, microscopio electrónico de barrido, espectroscopía Raman y unidades de caracterización eléctrica (unidades fuente-medidor). Además, los instrumentos deben estar en la cercanía de los laboratorios donde se preparan las muestras. Dependiendo de la aplicación en desarrollo, podría necesitarse de un cuarto limpio, cuartos de química húmeda y almacenamiento criogénico. Claramente, una iniciativa privada necesitaría de una fuerte inversión de aproximadamente \$2 millones para el equipamiento y construcción de infraestructura básica para un laboratorio de nanotecnología.

En las condiciones antes mencionadas, aliarse con las universidades es de vital importancia para disminuir el costo de investigación y desarrollo y acelerar el proceso de desarrollo de nuevos productos. En nuestro país debe crearse una cultura de inversión en tecnología como capital de riesgo para lograr el máximo beneficio de la nanotecnología.

Por otra parte, los indicadores nacionales de Ciencia, Tecnología e Innovación del 2009 indican que el desconocimiento de las opciones de financiamiento existentes, es la principal causa por las cuales las PYMES no acceden a los fondos para investigación, desarrollo e innovación. Para muchas de las que intentan acceder, los trámites burocráticos se convierten en una pesada carga o bien no cumplen con todos los

requisitos solicitados. Esta es la mayor limitación que se ha encontrado con las empresas al instarlas a presentar proyectos conjuntos con el ITCR en el Fondo PROPYMES.

La declaración de la investigación en nanotecnología y sus aplicaciones como un tema de interés público es un primer avance en este aspecto. Debe alfabetizarse al sector productivo y financiero en el concepto de nanotecnología y sus aplicaciones para lograr acciones conjuntas que se traduzcan en nuevos productos.

El Programa de Investigación en Nanotecnología ha recibido múltiples consultas y visitas de empresas deseosas de incorporar la nanotecnología en sus productos, pues consideran que esto les permitirá lograr una ventaja innovativa sobre sus competidores. Desde ese aspecto, existe buena acogida de los empresarios, especialmente entre los pequeños y medianos. Sin embargo, estos son los que cuentan con menos recursos para inversión.

En el aspecto financiero, se enfrentan las siguientes limitaciones para la atracción de fondos:

- La mentalidad cortoplacista de los empresarios
- Falta de agilidad para el manejo de los fondos privados provenientes del sector inversionista
- Falta de mecanismos nacionales y condiciones adecuados para financiar proyectos de capital de riesgo, especialmente para las PYMES
- Falta de disposición de los bancos y la banca de desarrollo para financiar capital de riesgo

Para crear condiciones atractivas para la investigación contratada, el ITCR debe concentrarse en establecer mecanismos eficientes y ágiles para la atracción y control de fondos. Una de las serias limitaciones con las que se cuenta es que la ronda de proyectos de investigación y extensión se realiza solamente una vez al año, retrasando el inicio de proyectos con posibilidad de inversión compartida en la cual el ITCR aporta el capital humano y la empresa aporta capital financiero y en especie. Por otra parte,

en caso de que la empresa esté dispuesta a financiar el costo total del proyecto incluyendo el recurso humano, se requieren mecanismos de contratación ágiles que permitan la participación de estudiantes de posgrado y profesionales externos para dar una respuesta oportuna a las necesidades de las empresas. Esto debido a que la participación de una nómina compuesta totalmente por profesores podría representar retrasos en caso de proyectos que inicien en medio del semestre.

En el caso de investigación contratada con el 100% de presupuesto privado, el ingreso de este capital a la FUNDATEC le da carácter de fondo público según la normativa actual del ITCR. El empresario podría percibir esto como una desventaja.

Como alternativa para agilizar los mecanismos de compra, contratación y manejo presupuestario, se sugieren dos opciones:

- 1) Administrar los fondos vía FUNCENAT
- 2) Crear el marco legal que permita la creación de spin offs de investigación desde el ITCR, que puedan atender estos casos manejando todo como capital privado y en un sistema de arrendamiento de laboratorios y equipo
- 3) Crear empresas auxiliares
- 4) Crear una cooperativa suplidora de materia prima (nanotubos, nanopartículas) donde se incluya la participación del ITCR en investigación y desarrollo

Por otra parte, otras opciones para el financiamiento de las actividades en nanotecnología son la venta de servicios y productos comerciales y promocionales del programa, venta de capacitación y licenciamientos. Los convenios específicos firmados por Nanoscience Instruments, Nanosurf, Leica Microsystems, Hitachi y Marine Reef International son una ventaja para el ITCR tanto en oportunidades de venta de servicios, descuentos en equipo y la potestad de la certificación exclusiva en Centroamérica de usuarios especializados en estos equipos. Sin embargo, esto tendrá un impacto real en la captación de recursos en la medida en que estas empresas promuevan sus ventas a nivel latinoamericano y en el ITCR se cuente con suficiente personal capacitado para hacer frente a esta venta de servicios. Dado que la

transferencia de conocimiento en manejo y mantenimiento de equipos no ha sido eficiente, en este momento el ITCR no podría hacerle frente a estas oportunidades, si se presentaran. Por esta razón y para logra un verdadero aprovechamiento del Laboratorio Institucional de Nanotecnología, es urgente la capacitación en uso de equipo y su mantenimiento.

c) Leyes y juridicidad

A nivel mundial existe un gran vacío jurídico con respecto a la nanotecnología, así como la falta de marcos regulatorios mundiales y nacionales. La nanotecnología está en la frontera del conocimiento, tanto en los fenómenos de la nanoescala, como en metrología, aplicaciones y toxicología humana y ambiental.

Ante esta situación, ISO ha organizado una serie de grupos de estudio multinacionales para normar los siguientes aspectos:

- Definiciones relacionadas con la nanotecnología
- Metrología y estándares de caracterización
- Estándares de pruebas toxicológicas

Para nuestro país y para el ITCR este es un momento clave para incorporarse a este grupo multinacional para conocer de primera mano los avances en nanotecnología y para tener los insumos para contribuir al país con asesoría técnica en la elaboración de su propia legislación, de manera que esté en armonía con las disposiciones de la comunidad internacional y no restrinja innecesariamente el desarrollo de la investigación y desarrollo en nanotecnología.

En este sentido, ya el ITCR ha recibido la primera consulta del MINAET por medio de la señora Enid Chaverri, quien ha solicitado asesoría técnica con respecto a una posición nacional en el tema de definición de protocolos de manejo de nanomateriales y legislación nacional. Debe también regularse la disposición de nanomateriales (desechos).

Una gran ventaja con la cual se cuenta para financiar las actividades en nanotecnología y sus aplicaciones es la declaración de interés público por parte de la señora Presidenta de la República Laura Chinchilla.

Sin embargo, en el aspecto legal, el ITCR enfrenta limitaciones para la atracción de fondos:

- Falta de agilidad para el manejo de los fondos privados provenientes del sector inversionista
- La declaración de los recursos de Fundatec como fondos públicos, resultando en la pérdida de su agilidad
- Falta de una política nacional de incentivos a la inversión privada en investigación
- No existe un marco de funcionamiento para empresas auxiliares

A nivel nacional, se cuentan con las siguientes limitaciones

- Falta de incentivos para la inversión de las empresas en nuevas tecnologías
- Falta de legislación para spin-offs
- Ley de contratación administrativa
- Burocracia externa e interna para contrataciones y manejo de presupuestos

d) Tecnología

La naturaleza multidisciplinaria, la gran variedad de aplicaciones y el estado temprano de la nanotecnología la convierten en un área del conocimiento sumamente fértil, con un elevado potencial de generación de propiedad intelectual. Cuanto más temprano se involucre el ITCR en esta corriente de investigación, más oportunidad tendrá de participar en el desarrollo que está ocurriendo a nivel mundial. Esto ha sido visualizado en el diagnóstico realizado por Estrategia Siglo XXI, que indica que los materiales avanzados, entre ellos la nanotecnología, es una de las áreas en las que Costa Rica debe enfocarse para alcanzar las metas de desarrollo del año 2050.

El Inventario de Productos de Consumo, disponible en Internet, registra actualmente 1014 productos que incorporan nanotecnología, producidos por 484 empresas localizadas en 24 países, desde la industria automovilística, electrónica, alimentaria, cosmética, entre otras aplicaciones de la nanotecnología. [CPI, 2010].

La cadena de valor de la nanotecnología incluye el desarrollo de hardware y software especializado, nanomateriales como materia prima, productos intermedios y productos terminados. Se estima que el mercado total de productos que incorporan nanotecnología alcanzará los 2.95 trillones de dólares para el 2014. [Lux 2004]. Aunque existen diferentes estimaciones para el tamaño del mercado, todas coinciden en que el rango está en los trillones de dólares.

Una de las grandes fortalezas del ITCR es la variedad de especialistas en ciencias y tecnología disponibles para el desarrollo de aplicaciones de la nanotecnología. Para aprovechar al máximo esta fortaleza, es de vital importancia la capacitación de estos investigadores en nanotecnología, de forma que puedan visualizar sus posibles aplicaciones. El Programa de Investigación en Nanotecnología contribuirá a crear estas capacidades por medio de cursos de capacitación interna, así como la promoción de posgrados y pasantías en nanotecnología en el exterior.

Por otra parte, se observa como una seria debilidad la falta de especialistas en síntesis química y nanobiotecnología. La síntesis química es clave para desarrollar procesos avanzados de creación de nanomateriales y nanopartículas, procesos de autoensamble y aplicaciones en medicina. De no desarrollar este recurso humano, deberíamos recurrir a la Escuela de Química de la UCR o al POLIUNA de la UNA, y con ello se estaría dejando en manos de estos grupos la propiedad intelectual del proyecto, pues al patentar el nanomaterial o nanopartícula, las aplicaciones desarrolladas por el ITCR dependerían de la anuencia de estos grupos en licenciar la partícula. En muchos proyectos se correría el peligro de que el papel del ITCR se reduzca a la caracterización de estos nanomateriales y nanopartículas. Por esta razón, es urgente la formación de personal en síntesis química.

Actualmente el ITCR cuenta con equipamiento especializado único en la región y con convenios específicos con los fabricantes de este equipo. El equipo adquirido cubre las necesidades de caracterización de productos con nanotubos de carbono establecidas por ISO, de acuerdo con la información recibida en la conferencia Nanotech Conference and Expo 2010, a saber: microscopio electrónico de barrido con analizador de energía dispersiva de rayos X, microscopio de transmisión electrónica, unidad de caracterización eléctrica fuente-medidor, microscopio de fuerza atómica. El único equipo que falta por adquirir para completar estas capacidades es un espectróscopo Raman.

El equipamiento es una ventaja temporal para el ITCR, por lo cual se requiere una inversión continua en equipamiento para aumentar las capacidades de investigación y sostener la capacitación y venta de servicios. Actualmente la UCR tiene entre sus planes de inversión la creación de un centro de investigación en nanotecnología y ciencia de los materiales, que reunirá a los grupos y equipamiento relacionado con este tema, con una inversión de \$5 millones, más la compra de SEM y TEM, entre otros equipos mayores. Con esto, el ITCR perdería la ventaja competitiva actual.

e) Política y gobierno

La administración de la Presidenta Laura Chinchilla ha sido consistente en apoyar la nanotecnología y la investigación en materiales avanzados como tema estratégico para el país. La declaración de la investigación en nanotecnología y sus aplicaciones como un tema de interés público, con amplia intervención del Programa de Investigación en Nanotecnología para lograr esta declaratoria, es una señal concreta de este apoyo.

Además de esto, los materiales avanzados, incluyendo nanotecnología, es una de las áreas prioritarias del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación presentado en el 2011.

Aunque existe un clima favorable en la política, la concreción de proyectos concretos del ITCR de proyección nacional en esta área se ha intentado condicionar al involucramiento de otros entes tales como universidades y Lanotec, dificultando y retrasando muy significativamente la consecución de los objetivos del Programa de

Investigación en Nanotecnología al tener que involucrar y coordinar con entes externos ajenos a la concepción de los proyectos, con acciones y visiones diferentes a las del ITCR y distribuyendo en financiamiento entre los mismos. La confluencia de actores en estas iniciativas debe realizarse gradualmente y de forma natural, a diferencia de lo que se ha intentado hacer hasta el momento.

f) Comunicaciones e información

El manejo de los medios de comunicación para proyectar al Programa de Investigación en Nanotecnología ha sido de vital importancia para la gestión de recursos y alianzas, así como para el contacto con las empresas. Esta tarea requiere de gran cantidad de tiempo, resultando insuficientes las horas de coordinación para atender tanto el Programa como las relaciones externas. El mantenimiento de la página web, redes sociales, contactos en redes académicas y atención de periodistas para publi-reportajes y programas de radio y televisión, así como la generación de contenidos requieren del apoyo al coordinador, el cual debe velar por generar y mantener la consistencia y exactitud de la información en las fuentes de difusión.

Esta estrategia de comunicación e información debe mantenerse para dar a conocer al público en general y las empresas el concepto de nanotecnología y sus aplicaciones, y para evitar que se genere un clima de desconfianza y aversión a la nanotecnología por información equivocada e inexacta sobre sus efectos en el ambiente y la salud.

g) Sociocultural

Desde el ITCR, el Programa de Investigación en Nanotecnología puede contribuir a la extensión por medio de la vinculación universitaria e industrial, pero también en la extensión social, poniendo a disposición del público general un entendimiento básico de la nanotecnología y sus implicaciones tecnológicas, éticas y ambientales, en un proceso de alfabetización tecnológica.

Para esto, es vital la disseminación de este conocimiento en las aulas universitarias, la promoción de las vocaciones científico-tecnológicas, así como el impulso a la

investigación, desarrollo y transferencia de tecnología en estrecha colaboración con la industria. En ese sentido, el Instituto Tecnológico de Costa Rica es un agente potenciador de la nanotecnología en el país, orientándose al desarrollo de aplicaciones industriales y la resolución de problemas nacionales utilizando la nanotecnología y contribuyendo a la formación del recurso humano multidisciplinario que permitirá utilizar esta tecnología como herramienta para aumentar la competitividad del país, así como la atracción de inversión en investigación y desarrollo.

Debido a la reciente introducción de la nanotecnología en el mercado, existe una gran expectativa del público en general sobre este concepto y sus alcances. Por esta razón es muy importante lograr una alfabetización de este concepto, con el fin de combatir de forma temprana cualquier percepción de peligro sobre la nanotecnología.

h) Competencia

En el escenario nacional, se han identificado tres grupos de investigadores académicos relacionados con el tema de nanotecnología, además del Programa de Investigación en Nanotecnología del ITCR:

- a) el grupo NANOFEM, de la Universidad de Costa Rica
- b) POLIUNA, de la Universidad Nacional
- c) el Laboratorio Nacional de Nanotecnología del Centro Nacional de Alta Tecnología

Los esfuerzos desconcentrados de estas tres unidades implican una fuerte competencia en la captura de fondos estatales. Sin embargo, estos entes, a diferencia del ITCR, no han mostrado un interés explícito ni constante en la búsqueda de fondos privados provenientes de la vinculación con la industria.

Por otra parte, el antagonismo entre algunos de estos investigadores representa un problema para la presentación de propuestas conjuntas en las que puedan participar la UCR, la UNA y el ITCR.

También es importante recalcar que el Lanotec cuenta con una ventaja indudable en la captura de fondos estatales en la Comisión de Incentivos y por medio de la presentación de proyectos FEES, derivada de su condición de laboratorio nacional.

2. Análisis FODA

A continuación se presenta el análisis FODA del ITCR en la venta de nanotubos de carbono.

Fortalezas:

- a) Capacidad para la elaboración, caracterización y comercialización de nanotubos de carbono con un nivel de pureza de al menos 90%.
- b) Recurso humano especializado en la síntesis de nanotubos de carbono.
- c) Un grupo de especialistas en diversas áreas para la investigación y el desarrollo de aplicaciones de los nanotubos de carbono.
- d) Un grupo consolidado de estudiantes dedicados en tiempo parcial al estudio y síntesis de nanotubos de carbono.
- e) Instrumentación de alta tecnología para la síntesis de los nanotubos de carbono.
- f) Instrumentación de para la síntesis de los nanotubos de carbono desarrollada por los estudiantes del TEC.
- g) Laboratorio de investigación con equipos de caracterización únicos en el país.

Oportunidades:

- a) Ser la primera institución a nivel de Costa Rica con un programa en nanotecnología enfocado a la producción de nanotubos de carbono en la actualidad.
- b) Ser pioneros en la potencial introducción de los nanotubos de carbono al mercado naciente de productos desarrollados con nanotecnología.
- c) Primera institución que enfoca la comercialización de nanotubos de carbono hacia mercados específicos (como el de pinturas y plásticos industriales)

- d) Mercados globalizados que presionan a las empresas costarricenses a mejorar su tecnología.
- e) Ausencia de proveedores de materia prima con aditivos de refuerzo como los nanotubos de carbono consolidados en el país.
- f) Inacción por parte de otros actores del campo de la nanotecnología.
- g) Apertura o disposición de empresarios contactados para la innovación de productos mediante el uso de nanotubos de carbono.
- h) Posibilidad de colocar parte de la producción de nanotubos como materia prima en otras investigaciones, dentro y fuera del TEC.

Debilidades

- a) Introducción de una tecnología innovadora poco conocida en nuestro país
- b) El Tecnológico de Costa Rica deberá ser tanto productor como comunicador de los beneficios potenciales de la nanotecnología a diferentes productos.
- c) Dependencia de unos pocos especialistas en la producción de nanotubos de carbono.
- d) Salida al mercado laboral de personal calificado y con entrenamiento en la síntesis, caracterización y comercialización de los nanotubos de carbono.
- e) Incapacidad del Tecnológico de retener a su personal capacitado en nanotecnología.
- f) Falta de escalamiento a nivel industrial.
- g) Falta estructura de costos a nivel industrial

Amenazas

- a) Potenciales competidores nacionales emergentes en el mercado de nanotubos de carbono.
- b) Posible autoproducción de nanotubos de carbono por parte del mercado al que se enfoca su futura comercialización.

- c) Algún grado de rechazo por parte de las empresas de pinturas y plásticos industriales, por posibles temores en riesgos medioambientales o para la salud
- d) Potenciales competidores internacionales emergentes en el mercado de nanotubos de carbono
- e) Comercialización masiva de materiales o aditivos con base en nanotubos de carbono por parte de grandes consorcios internacionales.
- f) Presiones políticas y económicas que se reflejen negativamente por parte de otros actores del área de la nanotecnología.

Anexo 2. Resumen ejecutivo: Diagnóstico de las aplicaciones comercial de los nanotubos de carbono

La actividad de fortalecimiento “Creación de un grupo de investigación en aplicaciones de los nanotubos de carbono”, permitió diagnosticar las áreas de aplicación comercial a corto plazo de los nanotubos de carbono, así como la situación del ITCR ante este panorama y las posibles alianzas estratégicas que podrían lograrse con la industria.

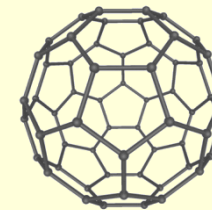
Los principales resultados de este estudio son:

- 1) Actualmente a mayoría de las empresas relacionadas con nanotecnología se dedican a la creación de materia prima o equipo especializado. Este grupo constituye la mayor parte de la industria, donde las desarrolladoras de equipo constituyen el grupo más numeroso.
- 2) Actualmente el foco de la industria se mueve lentamente hacia el desarrollo de aplicaciones, sin embargo, en el caso de nanotubos de carbono aún son incipientes.
- 3) Empresas de gran envergadura, como Bayern, están incursionando en la producción a gran escala de materia prima nanotecnológica para su propio abastecimiento
- 4) En América Latina no se reportan empresas desarrolladoras de nanotecnología en ningún campo (equipo, materia prima o aplicaciones), sino dos revendedores de productos nanotecnológicos. Si existen algunas empresas desarrolladoras, es probable que aún sean muy pequeñas e incipientes y que esto afecte su visibilidad.

- 5) A nivel mundial los dos campos de aplicación más fuertes de la nanotecnología son la electrónica, las capas delgadas y el mejoramiento de materiales líquidos o semisólidos utilizando la nanotecnología.
- 6) La agricultura es uno de los temas más nuevos en aplicaciones de la nanotecnología, donde el ITCR tiene grandes oportunidades de incursión por sus líneas de investigación tradicionales
- 7) El sector pinturas se muestra sumamente receptivo a la tecnología de nanotubos de carbono, sin embargo se cuenta con la potencial competencia de la importación directa de pinturas tratadas con nanotubos de carbono
- 8) El ITCR tiene una oportunidad local de producir nanotubos de carbono para la industria nacional, con un apropiado escalamiento de los procesos de producción

Anexo 3. Programa del Taller de vinculación Lanotec – Centros de investigación y Minuta del taller

Agenda Taller de Vinculación LANOTEC – Centros de Investigación Agosto -2011



- **9:00 am**
 - Bienvenida por parte del Ing. Eduardo Sibaja, Director del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT)
 - Palabras por parte de la Dra.-Ing. Paola Vega, Directora del Programa de Investigación en Nanotecnología del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).
 - Palabras por parte del Dr. Sergio Madrigal, Director de la Escuela de Química de la Universidad Nacional (UNA)
 - Palabras por parte del Ing. Santiago Núñez representante del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT)
- **10:00 am**
 - Charla inicial a cargo del Dr. José Vega, Director del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC)
- **11:00 am**
 - Potencial de los equipos de LANOTEC para la investigación en nanotecnología, a cargo de B.Sc. Marilyn Porras.
- **11:30 am**
 - Potencial de LANOTEC para simulación y modelado, a cargo del Ing. Juan Andrés Alfaro.
- **12:00 md**
 - Almuerzo
- **1:15 pm**
 - Inicia Taller

Moderadores:

 - Dr. José Vega (LANOTEC)
 - MSc Ileana Moreira (ITCR)
 - Dr. Sergio Madrigal (UNA)
 - Ing. Santiago Núñez (MICIT)
- **4:00 pm**
 - Café de cierre

Minuta del Taller de Vinculación LANOTEC-Centros de Investigación

Reunión No: 1

Fecha: Lunes 29 de Agosto de 2011

Hora: 1:30 pm

Lugar: Auditorio de CONARE

Objetivo de la reunión:

Buscar líneas de investigación o proyectos para desarrollarlos en conjunto LANOTEC y demás centros de investigación interesados.

Dinámica del taller

Primera Parte

El taller inició con la exposición por parte de los moderadores, cada uno tuvo el tiempo de 10 minutos para contar sobre los proyectos en los que han y están trabajando, así como su debida área y vinculaciones con otros centros.

Resumen por moderador:

- Dr. José Vega: LANOTEC, comentó sobre los proyectos participativos con las 4 universidades, programa para jóvenes científicos, participación en las olimpiadas de química. (Los proyectos propios de LANOTEC fueron expuestos en su presentación previa al inicio al taller).
- Dr. Sergio Madrigal: UNA, comentó que trabaja junto con el LANOTEC como centro facilitador para proyectos como aprovechamiento de desechos agroindustriales, materiales híbridos, parches biodegradables para madera plástica, soportes tridimensionales para materiales reforzados, liberación de fármacos.
- MSc. Ileana Moreira: Bióloga, ITCR, Comentó sobre un programa de compra de equipo como el AFM, TEM, SEM, robots miniaturizados por \$1,500,000 para un laboratorio en el ITCR. Además comentó de un proyecto para graduar técnicos en nanotecnología para utilizar los instrumentos en el ITCR.
- Dr. Víctor Hugo Soto: UCR, síntesis de productos orgánicos, compuestos de nanoestructuras, tubos moleculares con carga, sales biliares modificadas para utilizarlas como combustible.
- Ing. Rodolfo Hernández: UNED, 4 meses en la cátedra de química, participación en las olimpiadas de química, proyecto de biocombustibles de hidrocarburos.

- Ing. Santiago Núñez: MICIT, Ciencias de la Computación, simulación en procesos de ciencia, estructuras cuánticas y nanotubos de carbono.

Segunda Parte

Se organizó una reunión por grupos de 5 personas cada uno, se disponía de 15 minutos para que cada grupo planeara y presentara una propuesta de vinculación, se contaba con un espacio de 5 minutos por grupo para exponer lo planeado.

Resumen por grupo:

Grupo 1

Propuestas:

Agronanotecnología: Estimulantes para el crecimiento.

Energías renovables: trabajos con biocombustibles, (algas unicelulares), técnicas nanotecnología para el método de extracción de aceite y producción etanol.

Microbiología: nanopartículas con actividad antimicrobiana.

Materiales:

- Asfaltos con nanotubos (evaluar el tipo de comportamiento del asfalto con nanotubos)
- Endurecimiento de maderas con baños de nanotubos.
- Concreto
- Conducción

Biorremediación: reducción de contaminación.

Grupo 2

Propuestas:

GENERACIÓN DE NUEVOS MATERIALES

- Desarrollo de polímeros para administración de fármacos. (membranas, liposomas, núcleo magnético).
- Desarrollo de materiales con tecnología de cristales líquidos (conmutador óptico, estudiar la interacción entre los cristales líquidos y su encapsulado).
- Saneamiento ambiental: Desarrollo de sistemas terciarios, resinas, membranas, nano-remediación.

Grupo 3

Propuestas:

- Proponer líneas de investigación que estén armonizadas con las necesidades nacionales.
- Reconocer fortalezas de los componentes (laboratorios, centros de investigación, docentes, etc.)
- Buscar fuentes de financiamiento
- Constituir una red de investigación que permita la interacción entre estudiantes, investigadores, académicos, empresa privada.
- Desarrollar un plan estratégico de las áreas que sean definidas de interés para promover una adecuada planificación y promover la sinergia entre universidades y equipos de investigación.

Grupo 4

Propuestas:

- Educación, comunicación e información.
- Nano-biotecnología.
- Nano salud (farmacia, medicina, cosmetología).
- Nano materiales a partir de fuentes renovables.
- Maestrías/doctorados en tecnologías convergentes.
- Cursos de formación y actualización en tecnologías convergentes (uso de plataformas).

Grupo 5

Propuestas:

- Caracterización de materiales y nanometrología
- Venta de productos de calidad.
- Mejoramiento de procesos y productos.
- Patentes
- Modelado y análisis de materiales.
- Laboratorio virtual de nanotecnología: Simulación y análisis multiescala.
- Laboratorio de nanometrología: Estándares, recursos de capacitación.
- y de simulación.

En los próximos días la comisión de ciencias de los materiales se va a reunir para analizar y evaluar lo que expuso y se propuso en el taller, por lo que pronto se les va a estar comunicando la fecha de la siguiente reunión para darle un seguimiento al proceso.